

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zařízení pro testování zámků a závěsů dveří automobilu
Equipment for Vehicle Door Locks and Hinges Testing

Student:

Bc. Ondřej Šlosar

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Šlosar**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika
Téma: **Zařízení pro testování zámků a závěsů dveří automobilu**
Equipment for Vehicle Door Locks and Hinges Testing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete zařízení pro životnostní zkoušky zámků a závěsů dveří automobilu. Základní požadované parametry jsou: 150 000 cyklů otevření a zavření dveří, 1 cyklus: odjištění dveří pomocí vnější kliky, otevření dveří na požadovaný úhel, uzavření dveří zavírací rychlostí $0,7 \div 1,2$ m/s.

Vypracujte následující body:

- 1) Rešerše k problematice zavěšení a zajištění různých typů dveří automobilu, popis problému a návrh variant řešení.
- 2) Návrh konstrukce zařízení.
- 3) Návrh pneumatického obvodu včetně volby prvků.
- 4) Návrh alternativní elektro-pneumatické varianty.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 2019, 4. vydání. 373 s.

BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.

CAMOZZI COMPETENCE CENTRE. *Pneumatic Automation From Basic Principles to Practical Techniques*. Brescia: Camozzi Automation S.p.A., 2019, 215 p. Dostupné z:

https://www.camozzi.com/sites/default/files/dl_files/MN-Tec%20Did_ENG_2019_LowRes.pdf

Katalogy a podklady výrobců pneumatických prvků.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....

Podpis autora práce

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Šlosar, O. Zařízení pro testování zámků a závěsů dveří automobilu: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2020, 50 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Diplomová práce se zabývá návrhem pneumatického zařízení pro testování zámků a závěsů dveří automobilu. Součástí práce je rešerše různých typů závěsů dveří osobních automobilů. V úvodní části práce je také popsán průběh testu. Jsou zde uvedena různá řešení zařízení a vybráno nejvhodnější řešení. V další části práce je navrženo a vybráno konstrukční řešení zařízení. Výkresy dílů a sestavy jsou součástí příloh. Dále jsou navrženy dvě schémata pneumatického obvodu a navoleny pneumatické prvky vybraného obvodu. Poslední část práce je zaměřena na návrh alternativní elektro – pneumatické varianty řízení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Šlosar, O. Equipment for Vehicle Door Locks and Hinges Testing: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and hydraulic Equipment, 2020, 50 p., Thesis head: Dvořák, L.

Master thesis deals with design of pneumatic equipment for vehicle door locks and hinges testing. Part of the thesis is research of different types of hinges of car door. In the begining of thesis the course of the test is describet. Different solutions of equipment are mentioned, and there is choice of the most suitable solution. Subsequently, the design of equipment is designed and chosen. Drawings of parts and asseblies are included in enclosure. Next section of the thesis is dealing with pneumatic schemes and selection of pneumatic elements. The end of the thesis is focused on electro – pneumatic alternative of device.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod	10
1 Typy závěsů dveří automobilů	11
1.1 Horizontální otevírání	11
1.2 Posuvné dveře	12
1.3 Výklopné dveře nad střechu	13
2 Zavěšení na voze Škoda Karoq	14
3 Možné varianty řešení mechanismu	15
3.1 Parametry životnostní zkoušky	15
3.2 Obecné řešení mechanismu	15
3.3 Možnosti spojení dveří s pístnicí pneumomotoru	16
3.3.1 Ocelové lanko	16
3.3.2 Elektromagnet	16
3.3.3 Magnetická hlavice	17
3.3.4 Vakuum	17
3.3.5 Varianta jednoho pneumomotoru	18
4 Konstrukce zařízení	19
4.1 Návrh připojení pneumomotoru ke dveřím automobilu	19
4.1.1 Nároky na pneumomotor	20
4.1.2 Kloubový mechanismus	20
4.1.3 Mechanismus s jednočinným pneumomotorem	23
4.1.4 Mechanismus s pneumomotorem kolmo ke dveřím využívající lanko	25
4.2 Návrh extérního rámu	27
4.2.1 Nároky na pneumomotor	27
4.2.2 Konstrukce extérního rámu	28
4.3 Kompletní řešení	31
5 Návrh pneumatického obvodu a volba pneumatických prvků	32
5.1 Návrh pneumatického obvodu	32

5.1.1	Pneumatický obvod bez e-stop tlačítka	32
5.1.2	Pneumatický obvod s e-stop tlačítkem	35
5.1.3	Snímání poloh pístnice pneumomotorů	36
5.2	Výpočet propustnosti obvodu	37
5.2.1	Výpočet potřebného průtoku stlačeného vzduchu do pneumomotoru	37
5.2.2	Volba pneumatických prvků ovlivňujících propustnost obvodu	38
5.3	Volba zbylých prvků pneumatického obvodu	42
6	Alternativní elektro-pneumatická varianta	44
6.1	Počet vstupů a výstupů	45
6.2	Schéma elektro – pneumatického obvodu	45
6.3	Volba prvků elektro – pneumatického schématu	46
	Závěr	47
	Seznam použité literatury	48
	Seznam příloh	50
	Poděkování	51

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
a	délka ramene páky	[m]
b	délka ramene páky	[m]
D_{pist}	průměr pístu	[m]
F	síla pneumomotoru 25	[N]
F_q	příčná síla	[N]
F_x	síla ve směru osy x	[N]
F_y	síla ve směru osy y	[N]
F_1	síla pneumomotoru 15	[N]
F_2	síla působící na kliku	[N]
l	zdvih pneumomotoru 25	[m]
M_A	moment v bodě A	[N·m]
p_{abs}	absolutní tlak v systému	[Pa]
p_n	normální atmosférický tlak	[Pa]
Q_{Mn}	normální jmenovitý průtok	[m ³ ·s ⁻¹ (ANR)]
Q_{Ncelk}	celkový jmenovitý průtok obvodu	[m ³ ·s ⁻¹ (ANR)]
R_x	reakce v kloubové vazbě	[N]
R_y	reakce v kloubové vazbě	[N]
v_2	požadovaná rychlost zavírání dveří	[m·s ⁻¹]
v_{2t}	teoretická rychlost vysouvání pístnice	[m·s ⁻¹]
v_{2skut}	skutečná rychlost vysouvání pístnice	[m·s ⁻¹]
α	úhel mezi pneumomotorem a pákou	[°]
β	úhel otevírání dveří automobilu	[°]

Úvod

Cílem mé diplomové práce je navrhnout vhodné zařízení pro testování zámků a závěsů dveří osobního automobilu. Jedná se o pneumatické zařízení, které bude cyklicky otevírat a zavírat dveře, tak aby jednotlivé součásti byly otestovány na životnost.

Test se skládá z několika dílčích částí. V první fázi mechanismus odjistí dveře automobilu. Dojde tedy k odskočení dveří o 5° . Poté zařízení otevře dveře do první aretační polohy o úhel 45° . Poslední částí testu je zavření dveří definovanou rychlostí. Jelikož se jedná o zařízení do reálného provozu, je kladen důraz na cenu a jednoduchost zařízení.

První část diplomové práce obsahuje řešerši nejčastěji používaných typů závěsů dveří osobních automobilů. Dále je popsán průběh zkoušky životnosti a možnosti řešení mechanismu. Obsahem další části práce bude návrh konstrukčního řešení mechanismu a popis mechaniky. Dále bude práce zaměřena na tvorbu pneumatického obvodu. Následně se zaměřím na volbu prvků pneumatického obvodu. Součástí práce je uvedení cen vybraných prvků pneumatického obvodu. Poslední část diplomové práce je zaměřena na návrh alternativní elektro – pneumatické varianty zařízení.

1 Typy závěsů dveří automobilů

V automobilovém průmyslu se v průběhu desetiletí objevilo mnoho různých alternativ, jak lze otevřít dveře automobilu. Některé způsoby se neosvědčily a skončilo u konceptu. V této části diplomové práce se však zaměřím na alternativy v praxi využívané nejčastěji.

1.1 Horizontální otevírání

Jedná se o nejběžnější a nejčastěji využívaný způsob závěsů dveří. Dveře jsou zavěšeny na dvou nebo i více pantech. Po zatáhnutí za kliku od dveří dojde k odskočení dveří a po následném zatáhnutí za dveře dojde k jejich otevření. Dveře je možné otevřít do dvou aretačních poloh. V případě první aretační polohy dojde k otevření dveří o zhruba 45° , druhá aretační poloha nastane při úplném otevření dveří automobilu, tedy otevření o asi 80° . Tento způsob využívá rotační pohyb, jehož středem je osa čepů pantů. Nejběžněji dochází k otevření dveří směrem k přední vozů, ale existují i modely automobilů, u nichž dochází k otevírání dveří k zadní automobilu. Jedná se o jednoduché a levné řešení. Drobným, ale pochopitelným nedostatkem je potřeba místa vedle automobilu.

Tento typ závěsů dveří využívá naprostá většina automobilek pro většinu modelů. Je vhodný pro sedan, combi, SUV, MPV, nákladní automobily a mnoho dalších.

Testovací mechanismus bude navržen výhradně pro tento způsob otevírání dveří.



Obrázek 1 - Ukázka automobilu s horizontálním otevíráním dveří, Škoda Rapid [6]

1.2 Posuvné dveře

Další velmi využívanou možností, jak otevřít dveře automobilu, je posunout je podél vozu. Po zatáhnutí za kliku dojde k odskočení celých dveří směrem od automobilu. K otevření dveří je potřeba zatáhnout za dveře směrem k zadní části automobilu. Dveře se začnou posouvat v kolejničích, tyto kolejnice jsou u některých levnějších automobilů viditelné u těch dražších nikoli. Mnoho automobilů s tímto systémem využívá pro otevírání a zavírání dveří elektrický mechanismus, v tomto případě dojde k otevření či zavření dveří automaticky po zmáčknutí tlačítka. Výhodou tohoto systému je, že dveře se neotevírají do prostoru, ale posouvají podél automobilu, tudíž nezabírají téměř žádné místo. Z tohoto důvodu je tento systém výhodný pro automobily s delšími dveřmi. Další výhodou je snadnější přístup do vozu, kdy otevřené dveře nepřekáží [9].

Posuvné dveře jsou využívány zejména u užitkových vozů tzv. „dodávek“, ale mají široké využití i u větších rodinných vozů kategorie MPV.



Obrázek 2 - Ukázka automobilu s posuvnými dveřmi, Volkswagen Sharan [7]

1.3 Výklopné dveře nad střechu

Pro tento způsob otevírání se zažil pojem „racčí křídla“, jelikož automobil s takto otevřenými dveřmi připomíná plachtícího racka. Racčí křídla nejsou zdaleka tak často využívané jako předchozí dva způsoby otevírání dveří. Vyklápění dveří nad střechu automobilu je efektní, a proto se používá především u dražších sportovních vozidel. Prvním automobilem využívající tento způsob byl Mercedes-Benz 300 SL. Výhodou tohoto způsobu je lepší přístup do interiéru automobilu. Nevýhodou je vysoká cena a větší nároky na prostor okolo a nad automobilem [9].



Obrázek 3 - Ukázka automobilu využívajícího "racčí křídla", Mercedes-Benz 300 SL [8]

Existuje mnoho dalších způsobů otevírání dveří automobilu, jelikož ale nejsou sériově využívané a jsou používány především ve speciálně upravených automobilech (závodní vozy, vojenské vozy atd.), nebudu se těmito způsoby dále v diplomové práci zabývat.

2 Zavěšení na voze Škoda Karoq

Pro můj test jsem si vybral automobil Škoda Karoq, který využívá klasické horizontální otevírání dveří. Dveře jsou zavěšeny na dvou pantech (viz obr. 4) a v zavřeném stavu jsou jištěny západkou (viz obr. 5), která je zaháknutá v ocelovém „céčku“ (viz obr. 6). „Céčko“ je pevně přišroubováno k sloupku automobilu. Po zatáhnutí za kliku dojde k odjištění západky směrem nahoru, a je pak tedy možné dveře otevřít. Západka zůstává zasunutá až do doby, kdy jsou dveře zabouchnuty. Kdyby se západka vrátila do zajištěné polohy ještě před dolehnutím dveří, nebylo by možné je zabouchnout. Celý tento mechanismus je schován v těle dveří pod polstrováním. Jedná se o mechanický systém, který je spjat s klikou pomocí ocelových lanek.



Obrázek 4 - Systém zavěšení dveří



Obrázek 5 – Západka zajišťující dveře proti samovolnému otevření



Obrázek 6 - Ocelové "céčko" zajišťující dveře proti otevření

3 Možné varianty řešení mechanismu

3.1 Parametry životnostní zkoušky

Zařízení bude sloužit k testování závěsů a zámek dveří osobního automobilu. V rámci diplomové práce bude testovací zařízení navrženo na osobní automobil Škoda Karoq. Úkolem zařízení bude otestovat součásti dveří na životnost. Zadaný počet cyklů otevření a zavření dveří je 150 000. Test bude probíhat na dveřích upevněných na extérní svařované konstrukci tzv. testovací kabině. V první fázi testu dojde k odjištění dveří pomocí vnější kliky a pootevření dveří o 5°. Následně mechanismus otevře dveře do první aretační polohy, tedy o 45°. Aby došlo, ke správnému průběhu testu je nutné, aby se dveře nezastavily o testovací mechanismus, ale došlo k samovolnému zastavení pohybu dveří. Po zastavení pohybu dveří v aretační poloze mechanismus dveře zabouchne. Aby došlo k nasimulování reálných podmínek je definována rychlost zavírání dveří na $v_2 = 0,7 - 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Je nežádoucí, aby v průběhu zavírání dveří docházelo k opětovnému kontaktu testovacího mechanismu s dveřmi. Testované dveře a jejich součásti lze v průběhu testování poškodit.

3.2 Obecné řešení mechanismu

Mechanismus se skládá ze dvou přímočarých pneumomotorů. První pneumomotor je pevně připojen ke dveřím automobilu a slouží k odjištění kliky dveří. Řešení zatáhnutí za kliku budu specifikovat v dalších částech práce.

Druhý pneumomotor má za úkol otevírat dveře do první aretační polohy a poté je zabouchnout definovanou rychlostí. Kvůli požadavku zákazníka, který udává, že pohyb dveří automobilu se musí zastavit samovolně, není možné, aby tento pneumomotor byl spojen s dveřmi automobilu pevnou vazbou. V další části práce se zaměřím na možné spojení dveří s pístnicí pneumomotoru. Pneumomotor musí být umístěn na extérním rámu, jehož konstrukcí se budu zabývat později. Jelikož testované součásti mohou být poškozeny, nemusí být konec pístnice speciálně upraven, postačí pryžový nárazník s vnitřním závitem, který se našroubuje na závit pístnice. Další problematikou pohybu tohoto pneumomotoru je nutnost zabouchnutí dveří na jeden kontakt. Z tohoto důvodu je nutné, aby se pístnice z koncové polohy začala vysouvat pomalejší rychlostí a před okamžikem, kdy dojde ke kontaktu s dveřmi, musí pístnice zrychlit na rychlost požadovanou zákazníkem. Je tedy zřejmé, že kromě koncových senzorů polohy bude potřeba do mechanismu navíc umístit ještě jeden senzor polohy pístnice pneumomotoru. Tento senzor bude umístěn v místě, kde bude potřeba zrychlit na definovanou rychlost. Pro tento účel nejlépe poslouží magnetické snímače polohy pístu pneumomotoru. Jde o jednoduchý princip, kdy na pístu je připevněn permanentní magnet. Na těle pneumomotoru je připevněn senzor. Po přiblížení magnetu k senzoru dojde k zmagnetizování čidla a přestavění ventilu.

3.3 Možnosti spojení dveří s pístnicí pneumomotoru

3.3.1 Ocelové lanko

Součástí mechanismu je lanko, jehož jeden konec je připojen ke dveřím automobilu a druhý je připojen k pístnici pneumomotoru. Lanko bude ke dveřím připojeno pomocí ocelového oka, které bude do dveří našroubováno. V poloze, kdy jsou dveře zabouchnuté, je lanko prověšené a umožní tedy zabouchnutí dveří o sloupek automobilu. Po zahájení zasouvání pístnice se lanko napne a začne tahat za dveře a tím je otevírat. Po dojetí do první aretační polohy se pohyb pístnice zastaví, ale dveře mají vlivem setrvačnosti snahu pokračovat v pohybu, čímž dojde k opětovnému prověšení lanka a dojde k zastavení pohybu dveří dle požadavků. Výhodou tohoto řešení je nízká cena a konstrukční jednoduchost. Dále se nezvýší náklady na provoz zařízení a v případě prasknutí nebo jiného poškození lanka budou náklady na výměnu minimální.

3.3.2 Elektromagnet

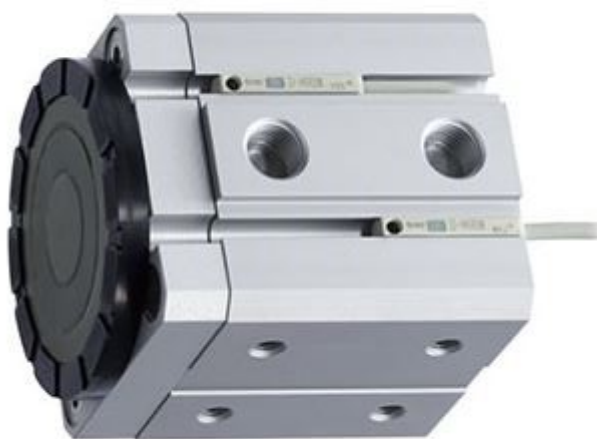
V tomto případě je pneumomotor, který otevírá dveře do první aretační polohy vybaven jedním nebo několika chapadly s elektromagnetem. V momentě, kdy se začne pístnice pneumomotoru zasouvat, začne procházet vinutím cívky elektromagnetu elektrický proud, čímž vznikne magnetická síla. V tomto momentě dojde k přichycení chapadla ke dveřím a mechanismus začne dveře otevírat. Problém nastává v bodě, kdy dveře musí být zastaveny samovolně. Možné řešení spočívá ve vypnutí elektrického proudu v průběhu zasouvání pístnice a deaktivaci magnetické síly. Pneumomotor se vysouvá dál, ale není již spjat s dveřmi automobilu a ty se tedy mohou zastavit v aretační poloze samovolně. Další problém nastává v momentě zabouchávání dveří. Chapadlo s elektromagnetem lze snadno poškodit, a proto by mechanismus musel být vybaven údernou plochou, která by kryla chapadlo. Další nevýhodou je vyšší cena mechanismu a potřeba vedení elektrického proudu do chapadla. Vzhledem ke zmíněným nevýhodám je tento princip nevhodný k dalšímu návrhu.



Obrázek 7 - Příklad úchopné hlavice s elektromagnetem; Schunk EMH [10]

3.3.3 Magnetická hlavice

Tento princip je podobný jako předchozí případ s elektromagnetem. Na pístnici pneumomotoru je umístěna magnetická hlavice s permanentním magnetem. V těle hlavice je umístěn přímočarý pneumomotor, na kterém je magnet přichycen. Po přivedení tlakového vzduchu dojde k vysunutí pístnice tohoto pneumomotoru, a tedy k posunutí magnetu směrem k přídržné ploše hlavice. Výhodou této hlavice je, že je čistě pneumatická a není tak k její funkci vyžadován elektrický proud. Úchopná síla může být až 1000 N , v závislosti na velikosti magnetu. Nicméně nevýhody jsou podobné jako u hlavice s elektromagnetem, takže i toto řešení není vhodnou volbou.



Obrázek 8 - Magnetická úchopná hlavice společnosti SMC typ MHM [11]

3.3.4 Vakuum

Další možnou variantou je otevření dveří pomocí vakua. V tomto případě je pneumomotor, jenž otevírá dveře vybaven chapadlem s jednou nebo několika přísavkami. V momentě, kdy se začne zasouvat pístnice tohoto pneumomotoru, dojde k vytvoření vakua v přísavkách a přísání chapadla ke dveřím. Stejně jako u řešení s elektromagnetem nastává problém se samovolným zastavení dveří. V průběhu otevírání dveří by muselo dojít k uvolnění přísavek a puštění dveří automobilu. Je tedy zřejmé, že kromě dvou koncových čidel a jednoho čidla pro detekci mezipolohy pístnice by muselo být přidáno další čidlo pro

detekci polohy pístnice v místě uvolnění přísavky. Další problém je opět v náchylnosti chapadla na mechanické poškození a nutnosti vybavit mechanismus údernou plochou. Toto řešení je tedy konstrukčně složitější. Pořizovací cena komponentů je vyšší než u řešení s lankem a náklady na provoz jsou také vyšší. Z těchto nevýhod mi vyplývá, že ani v tomto řešení není potenciál.

3.3.5 Varianta jednoho pneumomotoru

Poslední varianta, která mne napadá je mechanismus, který využívá k tahání za kliku a otevírání dveří pouze jeden pneumomotor. Tento pneumomotor by byl vybaven lankem, které by bylo chyceno ke klice dveří automobilu. Při zasouvání pístnice pneumomotoru by došlo nejdříve k zatáhnutí za kliku a poté k samotnému otevření dveří. Princip zavírání by byl stejný jako u mechanismu s dvěma pneumomotory.

Řešení využívající jeden pneumomotor je levnější a konstrukčně jednodušší. Nicméně si myslím, že toto řešení není vhodné z důvodu složitějšího pohybu pístnice při vysouvání a zasouvání. Výchozí poloha pneumomotoru by byla s vysunutou pístnicí a prověšeným lankem. V důsledku zasouvání pístnice by došlo k propnutí lanka a rázovému zatáhnutí za kliku. Rázové zatáhnutí by mohlo trvale poškodit kliku nebo její uložení. Aby se tomuto problému dalo předejít, musela by se pístnice v první fázi (než dojde k zatáhnutí za kliku) vysouvat menší rychlostí a až poté zrychlit. Z těchto důvodů si myslím, že řešení pomocí jednoho pneumomotoru je zbytečně složité a funkčnost by se musela testovat.

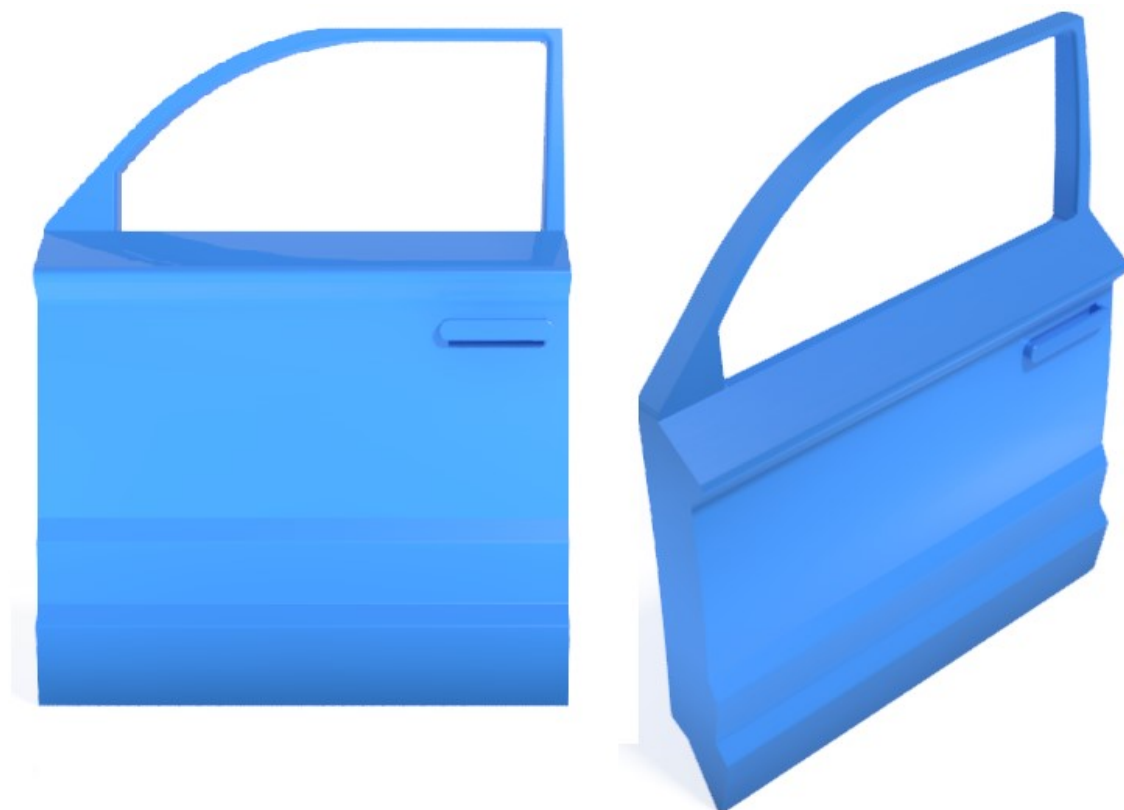
Z výše uvedených variant volím mechanismus s dvěma pneumomotory a lankem. Jedná se o nejjednodušší řešení. Zároveň tato varianta splňuje veškeré požadavky zadavatele. Ostatní varianty jsou nezanedbatelně složitější a funkčnost by musela být odzkoušena.

4 Konstrukce zařízení

Dveře automobilu budou při testu zavěšené na zkušební kabině, která je tvořena svařenými profily. Test bude probíhat ve zkušebně. Jak již bylo zmíněno, tak pneumomotor, který bude tahat za kliku dveří automobilu, bude upevněn přímo na dveřích. Druhý pneumomotor bude upevněn na svařované konstrukci, která bude pevně zakotvena k podlaze haly. Na následujících stránkách diplomové práce se zaměřím na návrh konstrukčního řešení mechanismu.

4.1 Návrh připojení pneumomotoru ke dveřím automobilu

V této části se zaměřím na způsob, kterým bude zařízení odjišťovat kliku. Rozhodl jsem se navrhnout tři způsoby a z nich následně vybrat jeden, který dle mého názoru bude nejvhodnější. První typ mechanismu bude využívat principu kloubového uložení, druhý typ bude jednodušší, kdy bude využit jednočinný kompaktní pneumomotor, který bude umístěn kolmo ke dveřím automobilu a pístnice bude v přímém kontaktu s klikou dveří. Poslední třetí typ mechanismu bude opět využívat pneumomotoru kolmo ke dveřím, bude se ale jednat o dvojčinný pneumomotor, který bude za kliku tahat pomocí lanka. Výhody i nevýhody všech typů mechanismu uvedu v další části práce. K názornější prezentaci mechanismů jsem si vymodeloval zjednodušený 3D model dveří automobilu Škoda Karoq. Základní rozměry a tvary dveří jsem naměřil z reálného automobilu.



Obrázek 9 - Zjednodušený model dveří automobilu Škoda Karoq

4.1.1 Nároky na pneumomotor

Abych mohl vyspecifikovat vhodný pneumomotor, je nutné změřit sílu nutnou k odjištění a zatáhnutí za kliku dveří automobilu. Dále je nutné určit jaký zdvih pneumomotoru bude potřeba. Síla potřebná k zatáhnutí za kliku byla změřena experimentálně, a to pomocí siloměru. Byla naměřena hodnota odpovídající $2 - 3 \text{ kg}$, tedy $20 - 30 \text{ N}$. Abych měl jistotu, že pneumomotor dokáže vyvinout dostatečnou sílu k zatažení za kliku, navýším minimální potřebnou sílu na 50 N .

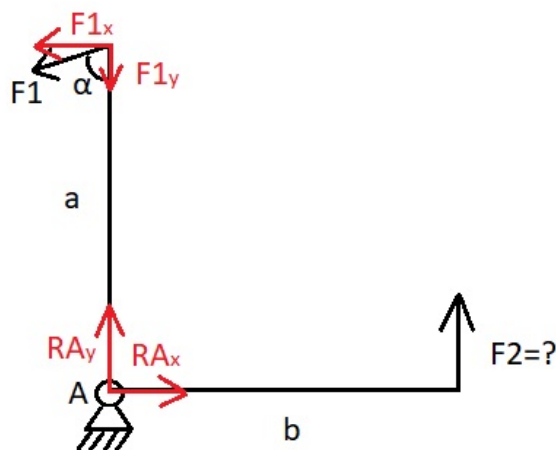
K určení zdvihu válce jsem změřil o kolik se klika posune ze zavřené do odjištěné polohy. Výsledkem měření byl posun o 14 mm . Z tohoto měření tedy vyplývá, že minimální potřebný zdvih pneumomotoru je 14 mm .

4.1.2 Kloubový mechanismus

Tento mechanismus se skládá z páky, pneumomotoru, tří konzolí, desky z nerezové oceli a spojovacího materiálu. Nerezová deska slouží jako společná základna pro ostatní komponenty. Na desku jsou navařeny dvě konzole, které slouží jako rotační vazby. V jedné konzoli je pomocí čepu uchyceno víko pneumomotoru. V druhé konzoli je stejným způsobem uchycena páka. Na pístnici pneumomotoru bude našroubována poslední konzole, která bude sloužit jako posuvný kloub. Jedno rameno páky bude čepem připojeno k této konzoli a druhé bude v kontaktu s klikou. Vysouváním a zasouváním pístnice pneumomotoru dosáhnou otáčení páky kolem osy rotace. Výchozí poloha pneumomotoru je s vysunutou pístnicí, zasunutím pístnice dosáhnou zatáhnutí za kliku dveří automobilu. Po opětovném vysunutí pístnice dojde k samovolnému návratu kliky do výchozí polohy. Jelikož se jedná o rotační pohyb a páka se neustálým otáčením dře o kliku, je nutné, aby kolem kliky byla umístěna chránička z nerezové oceli. Použitím této ochranné komponenty zajistím, že nedojde k poškození kliky, které by ohrozilo pokračování testu.

Celý mechanismus bude ke dveřím pevně připojen pomocí šroubů. Mezera mezi deskou a dveřmi, která vznikne vinou zkřivení dveří, se vyrovná pomocí kruhových podložek, které budou uzpůsobeny tvaru dveří.

Protože v tomto případě znám sílu, kterou pístnice působí na rameno páky (F_1), ale neznám skutečnou sílu, kterou druhé rameno působí na kliku (F_2), vytvořil jsem zjednodušený vektorový rozklad sil. Kdybych se rozhodl použít toto řešení, provedl bych podrobnější analýzu. Vytvořil jsem schéma páky, do kterého jsem zaznačil známé síly a rozměry. Dále jsem pokračoval řešením rovnic rovnováhy.



Obrázek 10 - Vektorový rozklad sil

Postup výpočtu je následující. Nejdříve jsem zavedl reakce v kloubové vazbě. Poté je nutné rozepsat rovnice rovnováhy sil pro směr osy x a y , dále je nutné rozepsat rovnici rovnováhy momentu v bodě A . Po rozepsání těchto rovnic rovnováhy jsem dopočítal složky síly F_1 ve směru osy x a y . Po těchto krocích mi vznikne soustava tří rovnic o třech neznámých, kterou postupně řeším. Výpočet provedu pro případ, kdy bych zvolil pneumomotor DSNU – 16 – 25 – P – A, který při zasouvání pístnice vyvine sílu $F_1 = 103 \text{ N}$. Délka ramene a je rovna 60 mm , délka ramene b odpovídá 70 mm . Úhel α v počáteční poloze odpovídá 80° . Pro tyto zadané hodnoty je výpočet následující:

$$\sum F_x = 0 \quad (1)$$

$$R_x - F_{1x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$R_y - F_{1y} + F_2 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad (3)$$

$$F_{1x} \cdot a + F_2 \cdot b = 0$$

$$F_2 = -\frac{F_{1x} \cdot a}{b} [\text{N}]$$

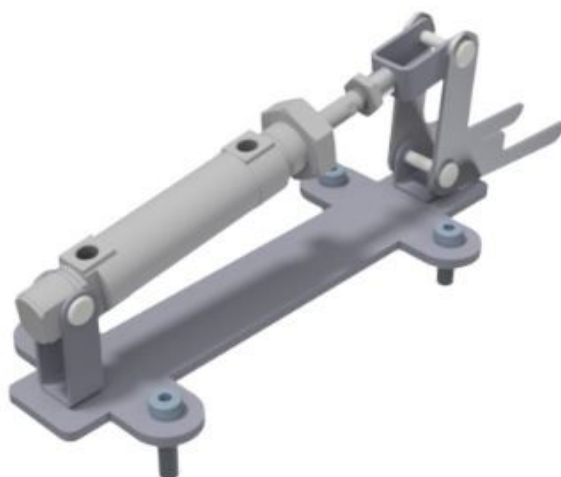
$$F_{1x} = F_1 \cdot \sin(\alpha) [\text{N}] \quad (4)$$

$$F_{1x} = 103 \cdot \sin(80) [\text{N}]$$

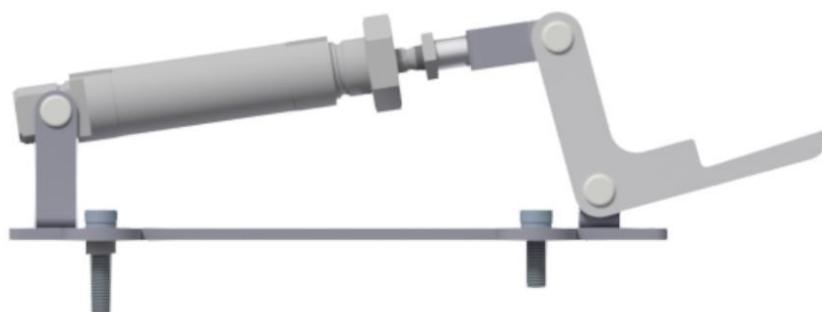
$$F_{1x} = 101,44 \text{ N}$$

$$F_2 = -\frac{101,44 \cdot 0,06}{0,07} = -86,95 \text{ N}$$

Výsledná síla, kterou páka zatáhne za kliku dveří, je tedy zhruba $F_2 = 87 \text{ N}$, což je méně než samotná síla, kterou vyvine pneumomotor, ale je dostačující k tomu, aby došlo k zatáhnutí a odjištění kliky.



Obrázek 11 - Kloubový mechanismus



Obrázek 12 - Kloubový mechanismus v otevřené poloze



Obrázek 13 - Kloubový mechanismus s dveřmi

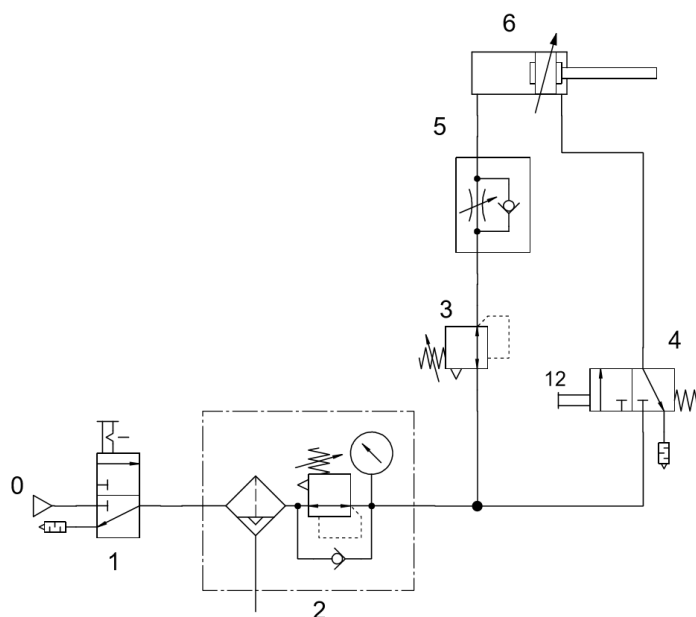
4.1.3 Mechanismus s jednočinným pneumomotorem

Mechanismus se skládá z kompaktního přímočarého jednočinného tažného pneumomotoru společnosti Festo, konzole na uchycení pneumomotoru a dvou tvarovaných plechů, které slouží jako táhlo a spojovacího materiálu. Výchozí poloha pneumomotoru je s vysunutou pístnicí. Pneumomotor tahá za kliku přímým zasouváním pístnice a není tedy nutná žádná transformace pohybu. K návratu kliky do výchozí polohy dojde samovolně. Jednočinný pneumomotor jsem volil z důvodu, aby při návratu kliky do výchozí polohy byl namáhán mechanismus kliky a nikoli pneumomotor. Aby tento systém fungoval i v případě, kdy klika nebude přesně kolmo ke dveřím a mohlo by dojít ke zpříčení mechanismu, jsem mezi pístnicí pneumomotoru a táhlo vložil vidlicovou koncovku Festo SG – M8, která umožňuje kyvný pohyb v jedné rovině.

Vybral jsem kompaktní pneumomotor Festo AEN – 20 – 15 – A – P – Z. Pneumomotor má zdvih *15 mm*. Síla při zasouvání pístnice činí *105 N*.

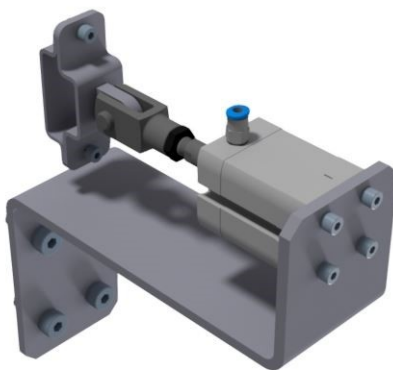
Veškeré použité plechy jsou ze standardní nerezové oceli číslo 1.4301. Plechy jsou vypálené z polotovarů a následně vytvarované dle výkresů. Tloušťka konzole na uchycení pneumomotoru je *5 mm*. Konzole je ke dveřím přišroubována pomocí M8 šroubů se zápusťnou hlavou. Táhlo tvoří dva ohýbané plechy o tloušťce *2 mm*. Tyto plechy jsou sešroubovány pomocí dvou M4 šroubů s maticemi. Jedna část táhla je připojena na pístnici pneumomotoru pomocí dvou matic. Pneumomotor je ke konzoli přišroubován pomocí M5 šroubů.

Použití tohoto mechanismu není vhodné hned z několika důvodů. Jednočinný pneumomotor není vhodný pro použití s takovýmto množstvím cyklů, s vysokou pravděpodobností by došlo k poškození mechanické pružiny. Problém by se dal řešit pomocí dvojčinného pneumomotoru, který by byl zapojen ve funkci jednočinného. Tohoto zapojení dosáhnou trvalým přívodem tlakového vzduchu do komory, kde je v případě jednočinného válce umístěna pružina. Tlakový vzduch musí být přiváděn přes redukční ventil s odfukem. Takovýmto zapojením vznikne v komoře protitlak, který zajistí návrat pístnice do výchozí polohy. Zapojení lze vidět na obrázku 14 [3] [2].



Obrázek 14 - Zapojení dvojčinného pneumomotoru do funkce jednočinného

Mnohem větší problém je nedostatečnost stupňů volnosti mechanismu. Při tahání za kliku dochází ke kyvnému pohybu kliky. Mechanismus nezajišťuje naklopení pístnice tak, aby kopírovala otáčení kliky. V tomto důsledku by se celý systém vzpříčil a nemohl by tedy fungovat. Proto jsem se rozhodl navrhnout třetí možnost, která je podobná tomuto řešení, ale eliminuje tyto nedostatky.

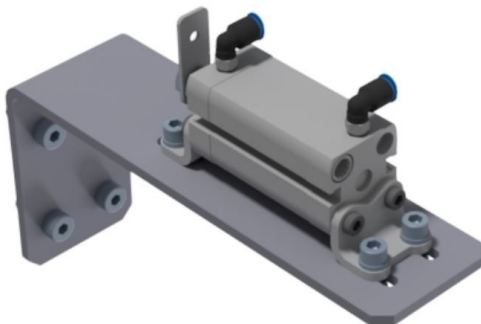


Obrázek 15 - Otevírací mechanismus s jednočinným pneumomotorem

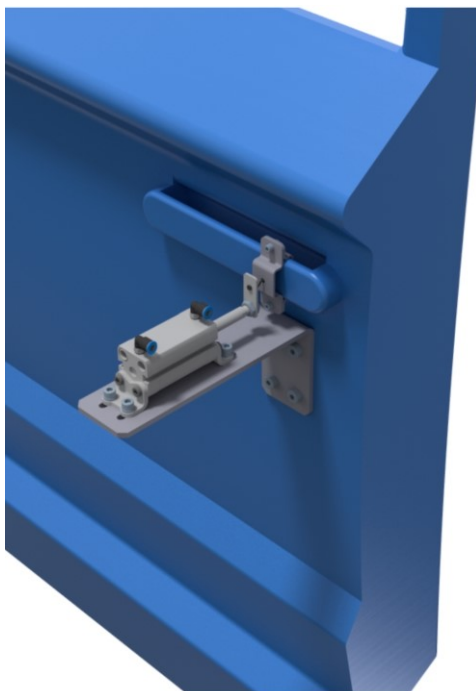
4.1.4 Mechanismus s pneumomotorem kolmo ke dveřím využívající lanko

Tento mechanismus je principiálně velice podobný předchozímu řešení. Z funkčního hlediska je ale následující řešení mnohem vhodnější. Provedl jsem změny, které usnadní montáž a řeší problémy předchozího řešení. Pneumomotor je opět umístěn kolmo ke dveřím automobilu a k tahání za kliku tedy dochází přímým zasouváním pístnice pneumomotoru. Rozhodl jsem se, že pneumomotor umístím na patky a do plechu, na který jsou patky přišroubovány, vytvořím drážky. Díky těmto drážkám bude možné měnit vzdálenost pneumomotoru od dveří. Délka drážky je 15 mm , je tedy možné pneumomotor posouvat v rozmezí těchto 15 mm . Další změnou je použití dvojčinného kompaktního pneumomotoru s větším zdvihem. Zvolil jsem zdvih 40 mm . Díky použití lanka, které spojuje pístnici pneumomotoru s klikou automobilu, mohu použít pneumomotor s větším zdvihem. Ve výchozí poloze je pístnice vysunuta a lanko je prověšené. Při zasouvání pístnice dochází k postupnému napínání lanka až do pozice, kdy zbývá posledních 14 mm zdvihu. V tomto momentě je lanko plně propnuté a začne tahat za kliku. Lanko mi tedy řeší problém zpříčení mechanismu z důvodů nedostatečného množství stupňů volnosti, ale je výhodné i ve směru vysouvání pístnice a návratu kliky do výchozí polohy. Díky lanku při návratu kliky nedochází k tlačení pístnice na kliku a návrat je tak samovolný. Vzhledem k této skutečnosti mohu bez problému využít dvojčinný pneumomotor a vyhnout se tak problému životnosti pružiny v jednočinném pneumomotoru.

Zvolil jsem kompaktní pneumomotor Festo ADN – 20- 40 – A – P – A. Tento pneumomotor při zasouvání pístnice vyvine sílu 141 N , při pracovním tlaku $0,6\text{ MPa}$. Tato síla je tedy plně dostačující pro odjištění kliky. Zbylé parametry kompaktního pneumomotoru lze vyčíst z obrázku 18. Dále se mechanismus skládá z nosného plechu z nerezové oceli, patek, konzole na lanko a spojovacího materiálu. Kolem kliky na dveřích automobilu jsou opět plechové krytky, ke kterým je připojeno lanko.



Obrázek 16 - Otevírací mechanismus využívající lanko



Obrázek 17 - Otevírací mechanismus využívající lanko s dveřmi

parametr	hodnota
datum odeslání	→ zobrazit
zdvih	40 mm
průměr pístu	20 mm
závit na pístnici	M8
tlumení	P: pružné tlumicí kroužky/desky na obou stranách
montážní poloha	libovol.
odpovídá normě	ISO 21287
konec pístnice	vnější závit
snímání polohy	pro čidla
varianty	jednostranná pístnice
provozní tlak	0.6 ... 10 bar
provozní režim	dvojčinný
provozní médium	stlačený vzduch podle ISO8573-1:2010 [7:4:4]
upozornění pro provozní a ovládací médium	provoz s přimazáváním olejem je možný (v jiných režimech se vyžaduje)
třída odolnosti korozi KBK	2 - mírné nároky na odolnost korozi
okolní teplota	-20 ... 80 °C
energie nárazu v koncových polohách	0.2 J
teoretická síla při 6 barech, zpětný chod	141 N
teoretická síla při 6 barech, dopředný chod	188 N
pohybující se hmotnost při zdvihu 0 mm	30 g
přírůstek hmotnosti na 10 mm zdvihu	21 g
základní hmotnost při zdvihu 0 mm	131 g
přírůstek pohybující se hmotnosti na 10 mm zdvihu	6 g
typ upevnění	dle volby: průchozí dírou vnitřním závitem příslušenstvím
připojení pneumatiky	M5
upozornění k materiálu	ve shodě s RoHS
materiál krytu	hliník eloxovaný
materiál těsnění	TPE-U(PUR)
materiál pístnice	vysoce legovaná ocel
materiál trubky válce	hliník legovaný pro tvárění hladce eloxováno

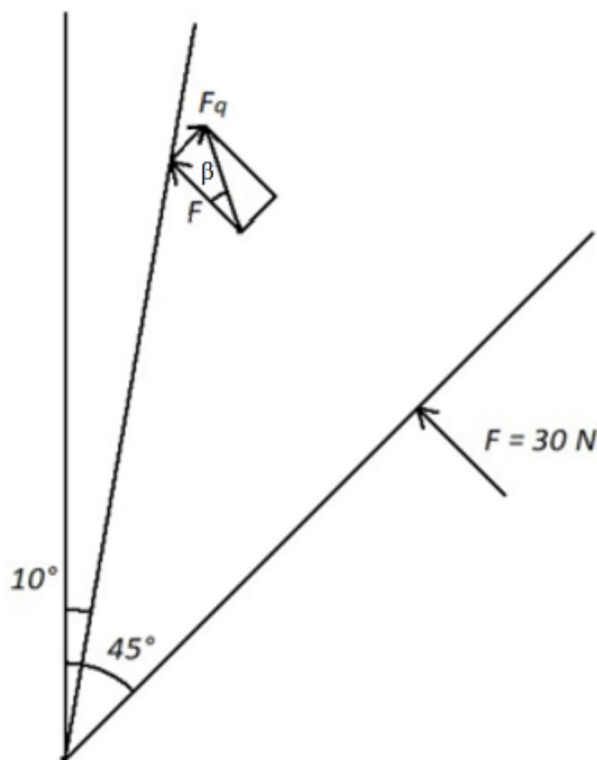
Obrázek 18 - Parametry pneumomotoru ADN [12]

4.2 Návrh externího rámu

4.2.1 Nároky na pneumomotor

Pro vytipování tohoto pneumomotoru je stěžejním parametrem zdvih. Uvažuji, že pneumomotor nebude ve výchozí poloze kolmo na dveře, ale bude umístěn pod úhlem zhruba 45° . Pravý úhel bude tedy pneumomotor s dveřmi svírat v případě, kdy dveře budou otevřeny a pístnice pneumomotoru zasunuta. K určení zdvihu pneumomotoru jsem tedy změřil vzdálenost polohy bodu, ke kterému bude připojeno lanko v zavřené poloze a v pootevřené poloze. Tento bod se posune o zhruba 450 mm . Zdvih pneumomotoru jsem tedy zvolil 450 mm . Dílčím požadavkem je síla při vysouvání pístnice. Je nutné dveře zabouchnout definovanou rychlostí a uvést tak hmotě dveří potřebné zrychlení. Určit tímto způsobem potřebnou sílu je pomocí výpočtů velice složité a nepraktické. V praxi se využívá testu. Já volím pneumomotor s průměrem pístu 50 mm . Tento pneumomotor vyvine při vysouvání sílu až 1170 N , která by dle testu měla být dostačující.

Jelikož úhel, který svírá pístnice s dveřmi, se v průběhu zavírání dveří mění, je třeba si uvědomit, že na pístnici bude u konce zdvihu působit i příčná síla, proto je třeba zkontrolovat velikost této příčné síly. Siloměrem byla změřena síla, kterou je třeba vyvinout k zavření dveří na 20 N . Tato síla je změřena v případě, že pístnice působí na konec dveří, v mém případě pístnice působí zhruba ve dvou třetinách ramene. Moment, který síla musí překonat, zůstává stejný, ale rameno, na které působí je kratší o jednu třetinu. Proto je třeba tuto sílu navýšit o polovinu, výsledná síla, která je nutná k zavření dveří, je tedy 30 N . Z obrázku 19 je patrný postup, kterým jsem vypočítal výslednou příčnou sílu.



Obrázek 19 - Rozklad sil pro určení příčné síly působící na pístnici pneumomotoru

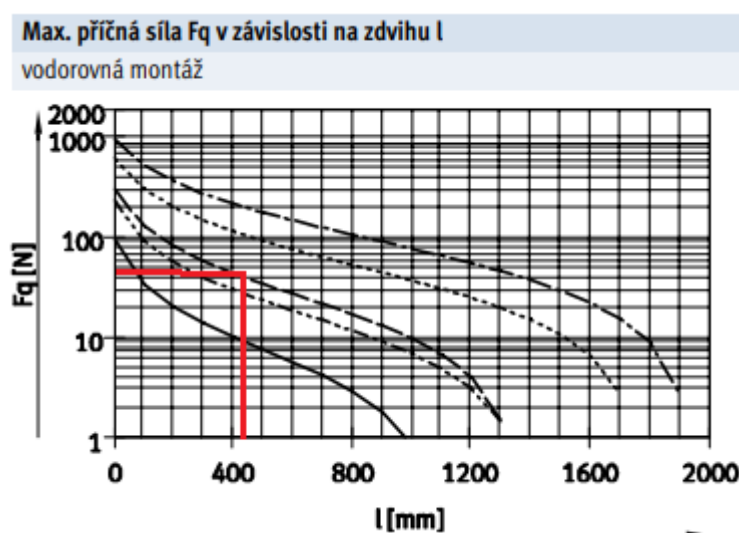
Schéma rozkladu sil je nakresleno orientačně, ale lze z něj dopočítat příčnou sílu F_q , která působí na pístnici pneumomotoru. Příčná síla bude největší v případě plně vysunuté pístnice. Pístnice je plně vysunuta již v případě, kdy dveře ještě konají pohyb a nejsou zcela zavřeny. Z tohoto důvodu uvažují, že posledních 10° úhlové dráhy dveře již nebudou tlačeny pístnicí. Z podobnosti trojúhelníků vyplývá, že úhel β , který svírá pístnice s příčnou silou, je 35° . Příčnou sílu F_q lze poté dopočíst z goniometrické funkce tangens.

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{F_q}{F} \quad [1] \quad (5)$$

$$F_q = \operatorname{tg}(\beta) \cdot F \quad [N]$$

$$F_q = 30 \cdot \operatorname{tg}(35) = 21 \text{ N}$$

Maximální příčná síla, která působí na pístnici pneumomotoru je tedy $F_q = 21 \text{ N}$. Výpočet je pouze orientační, v těchto případech je lepší otestovat komponenty, nebo konzultovat výběr pneumomotoru s dodavatelem. Určitou vypovídající hodnotu, ale poskytne i tento jednoduchý výpočet. Z katalogu vybraného pneumomotoru zkontrolují, zda vybraný pneumomotor splňuje podmínku příčné síly.



Obrázek 20 - Graf závislosti příčné síly na zdvihu [13]

Pro průměr pístnice 50 mm a zdvih 450 mm , který jsem zvolil, je maximální přípustná velikost příčné síly asi 45 N . Dle orientačního výpočtu jsem vypočetl sílu odpovídající zhruba jedné polovině maximální přípustné síly, proto lze konstatovat, že mnou vybraný pneumomotor splňuje podmínku příčné síly.

4.2.2 Konstrukce extérního rámu

Rám je koncipován jako svařenec z nerezové oceli. Tvoří jej nerezová základna $500 \times 500 \text{ mm}$, která bude ukotvena k podlaze. Na základně je navařen čtvercový jekl $70 \times 70 \times 850 \text{ mm}$. Na profilu je navařena deska $639 \times 100 \text{ mm}$ na podpěru pneumomotoru. Na desce jsou našroubovány patky na upevnění pneumomotoru. Celý rám je vyztužen žebry pro

zvýšení tuhosti. Zde jsem přemýšlel nad hliníkovým rámem z profilů ITEM, ale rozhodl jsem se pro svařovanou konstrukci, aby nedošlo k deformaci rámu v momentě, kdy pístnice pneumomotoru zastaví z plné rychlosti a následným rázem.

Součástí tohoto rámu je rozváděcí skříň pro umístění pneumatických prvků. Skříň je přišroubována ke konzolám, které jsou navařené k nosnému profilu.

Veškeré vyráběné díly jsou z nerezové oceli 1.4301, díly jsou páleny z polotovarových plechů. Tloušťky jednotlivých plechů jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci v přílohách. Celý rám je k podlaze připevněn pomocí čtyř průvlekových kotev M14.

Zvolil jsem přímočarý pneumomotor s jednostrannou pístnicí Festo DSBC-50-450-PPVA-25L. Kvůli nedostatku místa na závit pístnice jsem zvolil prodloužení závitu o 25 mm. Připojení pneumatických hadic je pomocí šroubení G1/4. Pneumomotor je z obou stran uchycen pomocí patek. Aby při zabouchávání dveří nedocházelo k velké deformaci dveří, je nutné na pístnici našroubovat pryžový tlumič. Dále je na konci pístnice uchycen držák na lanko. Aby nedocházelo k nárazům pístnice do místa, kde je na dveřích přichyceno lanko, je držák na lanko mimo osu pneumomotoru směrem dolů. Bližší specifikace pneumomotoru viz obrázek 23.



Obrázek 21 - Svařenec extérního rámu



Obrázek 22 - Sestava extérního rámu s pneumomotorem

Parametr	Hodnota
zdvih	450 mm
Ø pístu	50 mm
zkratka typového označení	DSBC
tlumení	nastavitelné pneumatické tlumení na obou stranách
montážní poloha	libovol.
konstrukční výstavba	píst pístnice profilová trubka
snímání poloh	pro přibližovací čidla
Provozní tlak	0.05 ... 12.0 bar
činnost	dvojčín.
provozní médium	stlačený vzduch podle ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
upozornění k provoznímu/řídícímu médiu	mazaný provoz je možný (od mazání pak již nelze upustit!)
třída odolnosti korozi KBK	1 - silné nároky na odolnost korozi
okolní teplota	-20 ... 80 °C
energie nárazu v koncové poloze	1 J
teor. síla při 6 barech, chod zpět	990 N
teor. síla při 6 barech, chod vpřed	1178 N
přírůstek pohybující se hmotnosti na 10 mm zdvihu	0 g 25 g
způsob upevnění	s vnitřním závitem s příslušenstvím volitelně:
připojení pneumatiky	G1/4
upozornění k materiálu	obsahuje látky LABS ve shodě s ROHS
informace o materiálu víka	tlakový odlitek z hliníku, lakováno
informace o materiálu trubky válce	tvárná hliníková slitina, hladce eloxováno

Obrázek 23 - Parametry pneumomotoru Festo DSBC [13]

4.3 Kompletní řešení

Konstrukce zařízení se tedy skládá z dvou samostatných přípravků. Pro tahání za kliku jsem zvolil konstrukčně jednodušší a levnější variantu, tedy případ s pneumomotorem kolmo ke dveřím automobilu. Konkrétně jsem vybral případ s dvojčinným pneumomotorem a lankem. Přípravek pro velký pneumomotor je přikotven k podlaze. Pístnice velkého pneumomotoru je opatřena konzolí pro uchycení lanka, na dveřích automobilu je našroubováno “očko“. Konstrukci jsem tvořil tak, aby byla co nejlevnější a nejjednodušší na montáž. Některé součásti jsou zjednodušené a nejsou zde zahrnuty složitější tvary dveří. Například plechy, které slouží jako krytka kliky, jsou přizpůsobeny zjednodušenému modelu kliky. Nicméně tento nedostatek se dá jednoduše upravit jiným zahnutím a natvarováním plechů. Princip konstrukčního řešení je však funkční a jednoduchými úpravami se dá použít na více typů automobilů.



Obrázek 24 – Kompletní konstrukční řešení zařízení

5 Návrh pneumatického obvodu a volba pneumatických prvků

5.1 Návrh pneumatického obvodu

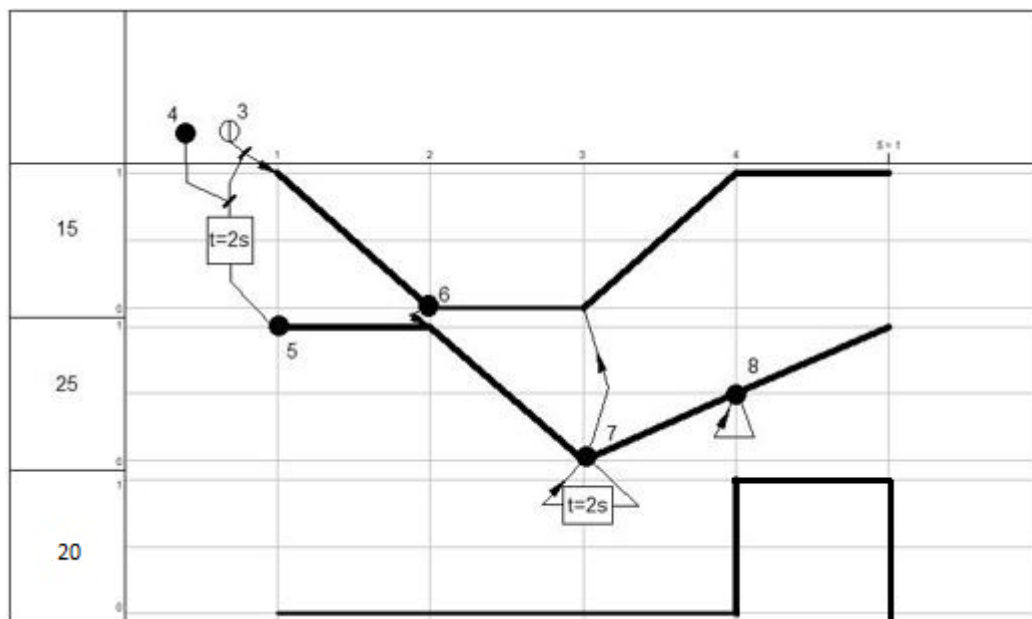
V této části diplomové práce se budu věnovat návrhu pneumatického obvodu. Sestavil jsem dva obvody, oba dva vykonávají stejnou funkci, ale první obvod je jednodušší a nejsou v obvodu zařazeny bezpečnostní prvky. Druhý obvod je o poznání složitější a je zde umístěno e-stop tlačítko, po jehož zmáčknutí dojde k okamžitému zastavení pohybu pístnice pneumomotoru 25. K vytvoření pneumatického obvodu, je nutné si uvědomit, jak celé zařízení funguje. Jak jsem již několikrát zmínil, celé zařízení se skládá z dvou přímočarých pneumomotorů, které kombinací pohybů cyklicky otvírají a zavírají dveře automobilu. Jeden pneumomotor tahá za kliku a odjišťuje dveře. Druhý pneumomotor otevírá a zavírá dveře.

Součástí obou pneumatických obvodů musí být jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu (2). Tato jednotka se skládá z filtru nečistot a regulátoru tlaku. V případech, kdy je potřeba vzduch přimazávat, je možné jednotku pro úpravu stlačeného vzduchu doplnit o maznici. Volím jednotku pro úpravu stlačeného vzduchu MS6-LFR-1/4-D6-CRM-AS, která má filtrační schopnost $5\text{ }\mu\text{m}$, což je dostatečná hodnota pro všechny prvky obvodu. Regulační schopnost jednotky je od $0,03\text{ MPa}$ do $0,7\text{ MPa}$. Dalším nezbytným prvkem obvodů je spínací ventil (1). Tento ventil je umístěn před jednotku pro úpravu stlačeného vzduchu a je sní spojen pomocí spojovacího modulu MS6 - AG, který lze koupit od výrobce. Jedná se o 3/2 ventil s možností aretace a slouží k odvzdušení/zavzdušní obvodu. Součástí ventilu je i tlumič hluku.

5.1.1 Pneumatický obvod bez e-stop tlačítka

Schéma pneumatického obvodu lze vidět v příloze K. Výchozí poloha obou pneumomotorů při startu testu je s vysunutou pístnicí. Test se spouští zmáčknutím přepínače 3 na rozváděcí skříni. V první fázi testu pneumomotor 15 zatáhne za kliku. Aby došlo ke spuštění testu, je nutné splnit tři podmínky. První podmínkou je přepnout přepínač 3 do otevřené polohy, druhá podmínka je, aby byl sepnut spínač 4, který detekuje, zda jsou dveře opravdu zabouchnuté a nedošlo k odskočení dveří. Jedná se o 3/2 ventil s kladkou, který je připevněn k testovací kabině, ventil dává signál v případě, že jsou dveře zavřeny. Poslední podmínkou je, aby byl sepnut snímač koncové polohy 5, který detekuje vysunutou polohu pístnice pneumomotoru 25. Tyto tři podmínky jsou sloučeny do dvou logických prvků AND 9 a 10. Pokud jsou splněny všechny tyto podmínky, tak se přestaví rozváděč 11 a pístnice pneumomotoru 15 se zasune. Test se dá kdykoli pozastavit přestavením přepínače 3, v případě přestavení tohoto přepínače do uzavřené polohy dojde k pozastavení testu po dokončení cyklu. Jelikož nedojde k současnému zabouchnutí dveří a vysunutí pístnice druhého pneumomotoru, použil jsem časové relé 16, díky němuž zajistím, že nedojde k tahání za kliku ještě před zabouchnutím dveří. Na krokovém diagramu (obrázek 26) lze

vidět průběh vysouvání a zasouvání pístnic obou pneumomotorů, dále je zde zaznamenán stav sepnutí ventilu 20, když je tento ventil sepnutý do otevřené polohy, dochází k vysouvání pístnice pneumomotoru 25 zvýšenou rychlostí.



Obrázek 25 - Krokový diagram pneumomotorů

Po zasunutí pístnice pneumomotoru 15 dojde k sepnutí koncového senzoru 6, který přestaví ventil 19 a zasune se pístnice druhého pneumomotoru, čímž dojde k otevření dveří. Jelikož se dveře musí ustálit v aretační poloze samovolně, tak nemůže dojít k okamžitému vysouvání pístnice druhého pneumomotoru, proto jsem mezi koncový snímač 7 a ventil 19 vložil časové relé 17. Po sepnutí tohoto časového relé dojde k přestavení ventilu 19 a pístnice druhého pneumomotoru se začne vysouvat. Ze snímače koncové polohy 7 je přiveden signální vzduch také do ventilu 11, po zasunutí pístnice pneumomotoru 25 dojde tedy okamžitě k vysunutí pístnice prvního pneumomotoru. Kliku dveří je tedy ve výchozí poloze dříve, než se začne vysouvat pístnice druhého pneumomotoru. V tomto okamžiku je nutné splnit další požadavky zákazníka, konkrétně aby byly dveře zabouchnuty definovanou rychlostí a také, aby byly zabouchnuty na jeden kontakt. Proto je v obvodu umístěn další pneumatický snímač polohy pístnice druhého pneumomotoru (8), po jehož sepnutí dojde k přestavení ventilu 20 a tlakový vzduch začne proudit do pneumomotoru přes obtok škrtkících ventilů. Dále jsem do obvodu vložil jednosměrný ventil 21, aby přes ventil 20 neunikal vzduch do atmosféry. Aby nedocházelo k vysílání signálu ze snímače 8 i při zasouvání pístnice pneumomotoru 25, je tento signál blokován pomocí 5/2 bistabilního ventilu 18. Tento ventil je ovládán pomocí snímačů 5 a 7. Po vysunutí pístnice pneumomotoru 25 končí jeden cyklus testu a může začít další.

Minimální potřebnou sílu pro zatáhnutí za kliku jsem stanovil na 50 N, pneumomotor 15 dokáže při zasouvání pístnice vyvodit sílu až 141 N při pracovním tlaku 0,6 MPa. Aby bylo možné snížit hodnotu tažné síly, umístil jsem na přívod vzduchu do pneumomotoru

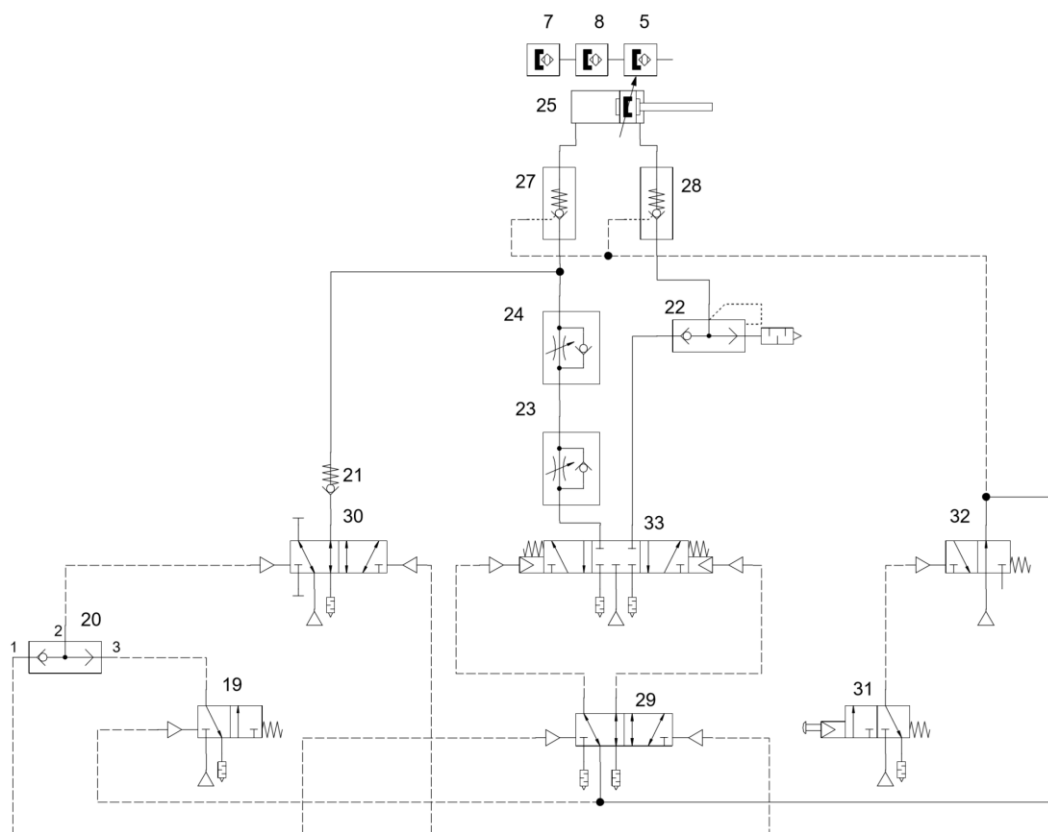
Jelikož zařízení slouží k cyklickému testu, je potřeba zaznamenávat počet vykonaných cyklů. Z tohoto důvodu jsem do obou obvodů zařadil čítač. Čítač jsem připojil na snímač 6, tedy na zasunutou polohu pneumomotoru 25. Po získání signálu dojde k načtení první poloviny čísla cyklu a po zaniknutí signálu se číslo přetočí úplně.

Jelikož při rychlém vysunutí pístnice, dojde k uvolnění značného množství vzduchu z pneumomotoru 25, je nutné do obvodu zařadit rychloodvzdušňovací ventil 22, přes který je možné vzduch odvést přes tlumič hluku, přímo do atmosféry [1].



5.1.2 Pneumatický obvod s e-stop tlačítkem

Schéma pneumatického obvodu lze vidět v příloze M. Pro zvýšení bezpečnosti jsem se rozhodl navrhnout pneumatický obvod s e-stop tlačítkem, které slouží k okamžitému zastavení pohybu pístnice pneumomotoru 2.0. Toto tlačítko sníží riziko úrazu, avšak obvod je značně složitější. Pohyb pístnice pneumomotoru 15 je ovládán stejně a obvody se pro tento pneumomotor neliší. Rozdíl nastává v ovládání druhého pneumomotoru. Pneumomotor je v tomto případě ovládán pomocí 5/3 ventilu ovládaného pneumaticky (33). Tento 5/3 ventil je přestavován pomocí 5/2 ventilu (29), který získává signální vzduch ze snímačů 6 a 8. V obvodu jsou opět zařazeny dvě časová relé, které zajišťují správnou následnost pohybů pístnic. E-stop tlačítko ovládá 3/2 ventil, který se po stisknutí e-stopu přestaví do zavřené polohy a okamžitě přeruší přítok stlačeného vzduchu. Na e-stop jsou napojeny také dva řízené zpětné ventily, které se po přestavění ventilu 32 uzamknou a dojde k uzavření tlakového vzduchu v obou komorách pneumomotoru 25. Opět je zde umístěna větev pro zrychlení vysouvání pístnice pneumomotoru 25. Tato větev je rovněž složitější, než u obvodu bez e-stop tlačítka. Přívod vzduchu zajišťuje ventil 30, který je v toto případě přestavován pomocí senzoru 5 a senzoru 7. Aby byl e-stop účinný i v případě, kdy se pístnice pneumomotoru vysouvá již zvýšenou rychlostí, lze ventil 30 přestavit i pomocí e-stopu. K tomuto účelu je do obvodu zařazen prvek logický prvek OR. E – stop tlačítko jsem zvolil aretační, takže k opětovnému spuštění testu postačí opětovné zmáčknutí e – stopu. Takto složitě řešení jsem volil zejména z důvodu co nejmenšího počtů prvků ve větvi, pro kterou počítám propustnost. Na obrázku 27 lze vidět princip funkce e – stop tlačítka (31)



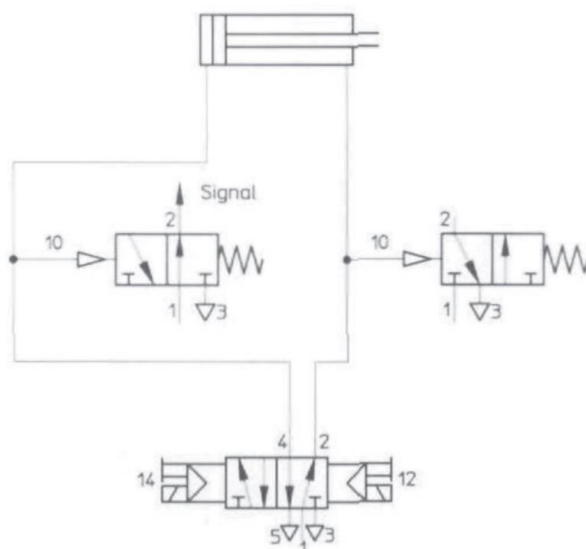
Obrázek 27 - Výřez z přílohy K, princip pneumatického obvodu s e-stop tlačítkem

Pneumatický obvod bez e – stopu je výhodný hned z několika aspektů. Pořizovací náklady komponent jsou mnohem nižší, také montáž komponent je jednodušší. Nicméně pro provozování strojního zařízení v běžném provozu je nutné splnit určitá bezpečnostní kritéria. Mezi tyto kritéria patří mimo jiné i možnost okamžitého zastavení chodu zařízení. Pro tyto účely slouží e- stop tlačítko, světelné závory a jiné bezpečnostní prvky. Dále je nutné zamezit operátorům přístup k zařízení pomocí bezpečnostního oplocení. Jelikož testovací zařízení bude provozováno ve zkušebně a nikoli v běžném provozu, jsou nároky na bezpečnost mnohem nižší. Za dostačující bezpečnostní opatření provozu na zkušebně je ohrazení zařízení páskou, umístění cedule s nápisem např: „Pozor! Probíhá test!“. Dále je nutné, aby zařízení obsluhoval pouze proškolený operátor. Vzhledem k těmto bezpečnostním úlevám mohou dále vycházet ze zjednodušeného schématu pneumatického obvodu.

Pneumatické obvody jsem sestavil v programu FluidDraw, funkčnost obvodů jsem simuloval v programu FluidSIM. Oba tyto softwary jsou produktem společnosti Festo. Schémata pneumatického obvodu příkládám do příloh.

5.1.3 Snímání poloh pístnice pneumomotorů

Pro snímání polohy pístnice pneumomotoru existuje mnoho variant. Některé varianty jsou použitelné pouze pro snímání koncových poloh, jiné varianty jsou vhodné i pro snímání mezipolohy pístnice pneumomotoru. Vždy záleží na konstrukčních a finančních omezeních. Jelikož zařízení, které navrhuji, má být plně pneumatické, budu se zde věnovat pouze snímačům, které vysílají pneumatický signál. Mezi nejjednodušší snímání polohy pístnice pneumomotoru patří mechanické dorazy. Vyrábí se mnoho variant dorazů, mezi nejčastější patří kladky. Pomocí kladek lze snímat jak koncovou polohu, tak i mezipolohu pístnice. Nevýhoda používání dorazů je, že musí být nainstalovány na externím držáku, což je ne vždy proveditelné. Dalším způsobem, kterým se dá snímat koncová poloha pneumomotoru je tzv. signální šroubení. Signální šroubení se našroubuje přímo do pneumomotoru. Jedná se o 3/2 ventil ovládaný pneumaticky, návrat do základní polohy je pomocí mechanické pružiny. V případě, kdy je komora pneumomotoru pod tlakem, je ventil přestaven do zavřené polohy. Po dojetí pístnice do koncové polohy dojde k zaniknutí tohoto tlaku a ventil je pomocí pružiny přestaven do otevřené polohy. Pomocí signálního šroubení nelze tedy snímat mezipolohu pístnice a je tudíž nevhodné pro mou aplikaci. Princip funkce signálního šroubení lze vidět na obrázku 28. Mnohem praktičtější je snímání polohy pístnice pneumomotoru pomocí snímačů, které se montují přímo na tělo pneumomotoru. Já jsem se rozhodl použít pneumatické snímače polohy pístnice Festo SMPO – 8E, které se montují pomocí montážní sady SMB – 8E přímo do T – drážky pneumomotoru. Snímač využívá principu magnetického pole. Na pístu pneumomotoru je umístěn magnet. Po dojetí pístu na místo, kde je umístěno čidlo SMPO – 8E, tento magnet přestaví 3/2 ventil v čidle a dojde k sepnutí. Tyto snímače jsou vhodné pro aplikace, které se řídí čistě pneumaticky [1] [5].



Obrázek 28 - Princip funkce signálního šroubení [15]

5.2 Výpočet propustnosti obvodu

5.2.1 Výpočet potřebného průtoku stlačeného vzduchu do pneumomotoru

Pro splnění podmínky rychlosti vysouvání pístnice pneumomotoru 25 je nutné provést výpočet průtoku stlačeného vzduchu přepočtený na normální podmínky (ANR), který proudí do tohoto pneumomotoru. Pro tento výpočet budu vycházet z požadavků zákazníka, že se pístnice pneumomotoru 25 má vysouvat minimální rychlostí $v_{2min} = 0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Tato hodnota rychlosti je minimální rychlost, kterou je zákazník schopný akceptovat. Pro vytvoření rezervy volím rychlost zasouvání pístnice $v_2 = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což je horní požadovaná hranice. Dalším důležitým parametrem pro výpočet potřebného průtoku je plocha, na kterou bude vzduch působit. Jelikož se jedná o rychlost při vysouvání pístnice, tak plocha, kterou při výpočtu budu dosazovat je plocha pístu. Pro získání plochy pístu musím znát velikost průměru pístu, kterou vyčtu z katalogu zvoleného pneumomotoru. Posledním potřebným parametrem je pracovní tlak. Pracovní tlak pro chod zařízení volím $p_{prac} = 0,6 \text{ MPa}$. Rovnice pro výpočet potřebného průtoku má následující tvar.

$$Q_{M_N} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_{2t} \cdot \frac{p_{abs}}{p_n} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}(\text{ANR})] \quad (6)$$

$D_{pist} \dots$ průměr pístu [m]

$V_{2t} \dots$ rychlost zasouvání pístnice pneumomotoru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

$p_{abs} \dots$ absolutní tlak [Pa]

$p_n \dots$ atmosférický tlak za normálních podmínek [Pa]

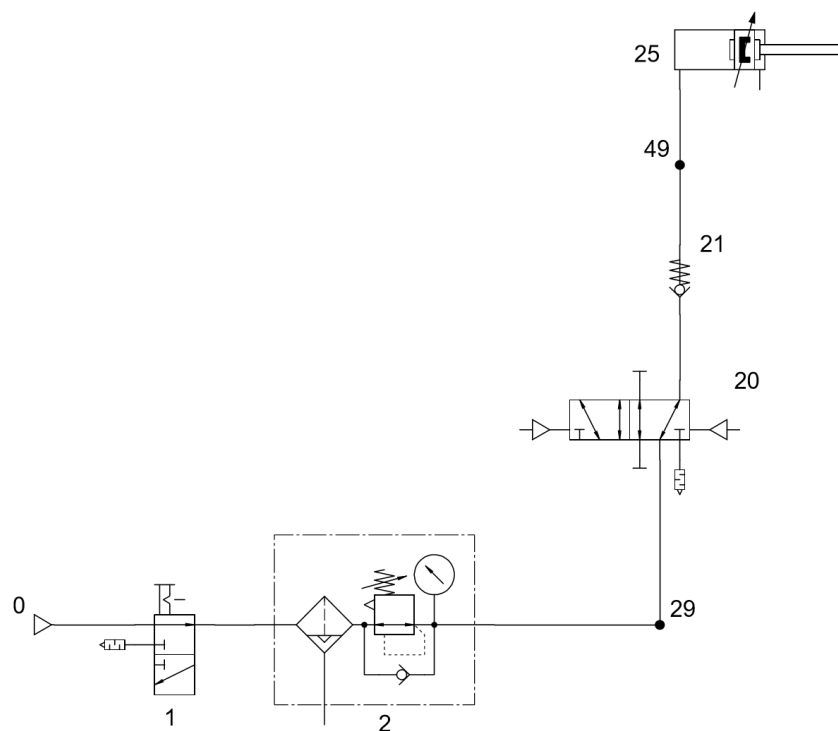
$p_n = 0,1 \text{ MPa}$

$$Q_{M_N} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot 1,2 \cdot \frac{0,6+0,1}{0,1} = 0,0165 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}(\text{ANR})$$

Hodnota tohoto průtoku odpovídá $Q_{M_N} = 989,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (ANR), v technické praxi je jednotka $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ mnohem běžnější než základní jednotka průtoku.

5.2.2 Volba pneumatických prvků ovlivňujících propustnost obvodu

Abych zajistil minimální průtok do pneumomotoru 25 je nutné provést výpočet propustnosti pneumatického obvodu. Tento výpočet zahrnuje všechny pneumatické prvky, které přímo ovlivňují průtok stlačeného vzduchu proudícího ze zdroje do spotřebiče. V mém případě jsou kladeny požadavky na rychlost vysouvání pneumomotoru 25, proto provedu volbu prvků a kontrolu propustnosti pro tento pneumomotor. Jelikož v momentě, kdy kontroluji průtok stlačeného vzduchu do pneumomotoru 25, je první pneumomotor v klidu (nespotřebovává žádný stlačený vzduch), postačí kontrola sériového zapojení. Kontrolu provedu pro prvky, kterými proudí vzduch při zvýšené rychlosti vysouvání pístnice. Prvky, které ovlivňují spotřebu stlačeného vzduchu, jsou znázorněny na obrázku 29.



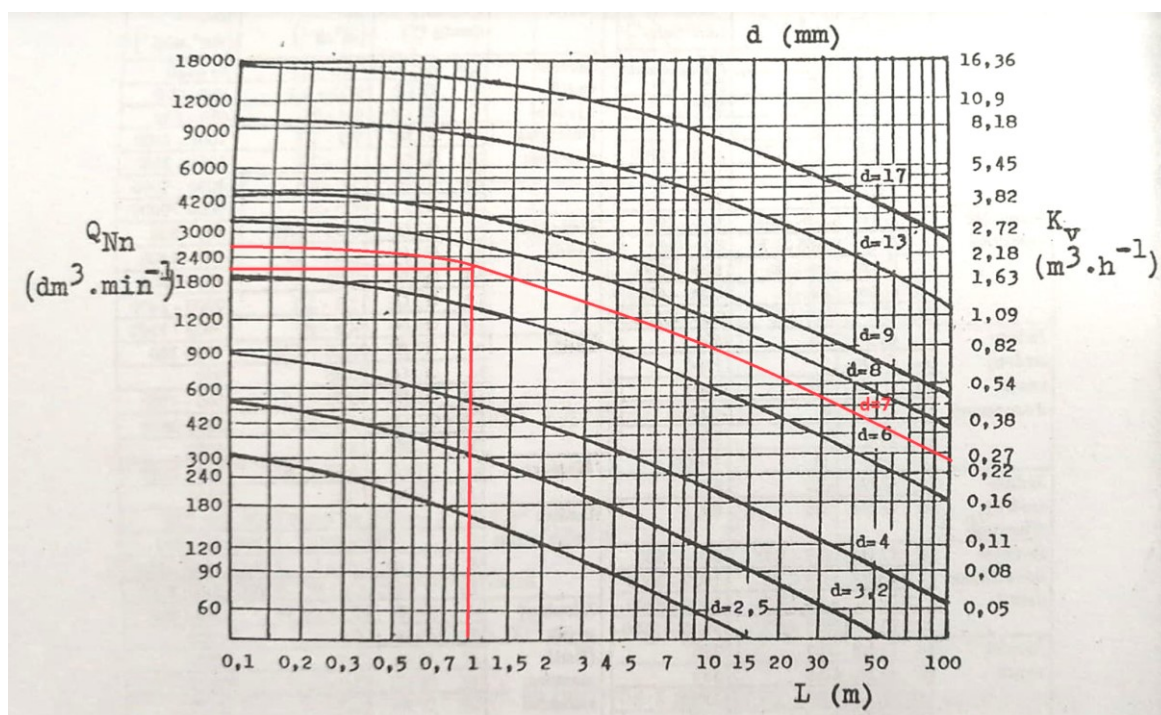
Obrázek 29 - Prvky ovlivňující propustnost stlačeného vzduchu

Veškeré prvky pneumatického obvodu volím z katalogu společnosti Festo. Festo uvádí propustnost jednotlivých prvků ve formě normálního jmenovitého průtoku $[\text{l/min}]$. Ve výpočtu propustnosti pneumatického obvodu logicky platí, že čím větší je světlost prvků, tím více stlačeného vzduchu propustí. Jelikož v mém případě potřebuji poměrně vysoký průtok stlačeného vzduchu, volím vnější průměr hadice 10 mm . Délka hadice mezi spínacím ventilem 1 a ventilem 20 je minimální. Všechny tyto prvky jsou umístěny v rozváděčové skříni. Délka hadice mezi pneumomotorem 25 a ventilem 20 odpovídá hodnotě $l \approx 0,8 \text{ m}$. Pro vytvoření rezervy volím délku hadice $l = 1 \text{ m}$. Pro snadnou orientaci ve výpočtu jsem

vytvořil tabulku v MS Excel, kde je uveden název komponenty, označení výrobce, číslo komponenty ve schématu, hodnota normálního jmenovitého průtoku a počet kusů jednotlivých komponent. Prvky ovlivňující propustnost jsou tedy spínací ventil, jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu, 5/2 ventil, jednosměrný ventil a všechna šroubení. Propustnost hadic a šroubení není v katalogu uvedena, vycházím tedy z hodnot, které jsou uvedeny ve skriptech Pneumatické prvky a systémy. Graf pro určení normálního jmenovitého průtoku hadic vychází ze světlosti hadic, nikoli z vnějšího průměru. Hadici s vnějším průměrem 10 mm odpovídá světlost 7 mm.

Jmenovitá světlost šroubení		K_V	Q_{Nn}
d (mm)	(")	($m^3 \cdot h^{-1}$)	($dm^3 \cdot min^{-1}$)
2	G 1/8	0,21	230
2,5	G 1/4	0,33	367
4	G 1/8	0,85	940
6	G 1/4	1,92	2100
8	G 1/4	3,45	3700
10	G 3/8	5,33	5850
12	G 1/2	7,67	8440
16	G 1/2	13,63	14960
20	G 3/4	21,32	24500

Obrázek 30 - Normální jmenovitý průtok šroubení [3]

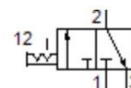


Obrázek 31 - Normální jmenovitý průtok hadic [3]

spínací ventil MS6-EM1-1/4-S

č. dílu: 541272

FESTO



ručně, s tlumičem hluku, směr průtoku zleva doprava.



 obecné podmínky použití

 katalogový list

→ list s údaji o spolehlivosti výrobku

katalogový list

parametr	hodnota
datum odeslání	→ zobrazit
konstrukce	otočné šoupě
typ ovládání	ruční
funkce odvětrání	nelze škrtit
typ řízení	přímo
funkce ventilu	3/2 impulsní
provozní tlak	0 ... 18 bar
hodnota C	10,7 l/sbar
hodnota B	0,56
normální jmenovitý průtok	3,000 l/min
provozní médium	stlačený vzduch podle ISO8573-1:2010 [7:4:4] inertní plyny
upozornění pro provozní a ovládací médium	provoz s přímazáváním olejem je možný (v jiných režimech se vyžaduje)
třída odolnosti korozi KBK	2 - mírné nároky na odolnost korozi
upozornění k materiálu	prostě mědi a PTFE ve shodě s RoHS
teplota média	-10 ... 60 °C
okolní teplota	-10 ... 60 °C
bezpečnost vzhledem k potravinám	viz rozšířené informace o materiálu
typ upevnění	dle volby: instalace vedení příslušenstvím
montážní poloha	libovol.
směr proudění	nelze obrátit
hmotnost výrobku	655 g
připojení pneumatiky 1	G1/4
připojení pneumatiky 2	G1/4
připojení pneumatiky 3	integrováný tlumič hluku není svedeno
materiál těsnění	TPE-U(PU)
materiál tělesa	hliníkový tlakový odlitek

Obrázek 32 - Příklad značení normálního jmenovitého průtoku v katalogu Festo [14]

Tabulka 1 - Tabulka komponent ovlivňujících propustnost obvodu

komponenta	označení	číslo	propustnost	počet kusů
-	-	-	[dm ³ ·min ⁻¹]	[ks]
spínací ventil	MS6-EM1-1/4-S	1	3000	1
jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	MS6-LFR-1/4-D6-CRM-AS	2	2700	1
5/2 venti	VUWS-L25-B52-G14	20	1300	1
jednosměrný ventil	H-QS-10	21	1480	1
šroubení	QSX-10	29	3700	1
šroubení	QSL-G1/4-10	46	3700	1
šroubení	QS-G1/4-10	27	3700	4
hadice	PUN-10X2-BL	50	2000	1

Z katalogu společnosti Festo jsem vyčetl údaje, které jsou uvedeny v tabulce 1. Z hodnot propustnosti jednotlivých prvků vypočtu propustnost celého obvodu dle následující rovnice.

$$Q_{N_{celk}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_n^2}}} [dm^3 \cdot min^{-1}(ANR)] \quad (7)$$

$$Q_{N_{celk}} = \sqrt{\frac{1}{3000^2} + \frac{1}{2700^2} + \frac{1}{1300^2} + \frac{1}{1480^2} + \frac{7}{3700^2} + \frac{1}{2000^2}}$$

$$Q_{N_{celk}} = 709,8 dm^3 \cdot min^{-1} (ANR)$$

Aby byla splněna podmínka rychlosti vysouvání pístnice pneumomotoru je nutné splnit následující rovnici.

$$Q_{N_{celk}} \geq Q_{M_N} \quad (8)$$

Jelikož tato rovnice není splněna, propustnost obvodu je nižší než potřebný průtok stlačeného vzduchu do pneumomotoru, je potřeba provést kontrolu rychlosti vysouvání pístnice pneumomotoru. Pokud skutečná rychlost vysouvání pístnice pneumomotoru bude v rozmezí $0,7 - 1,2 m \cdot s^{-1}$, lze tvrdit, že je splněna podmínka propustnosti.

$$v_{2_{skut}} = Q_{N_{celk}} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D^2} \cdot \frac{p_n}{p_{abs}} [m \cdot s^{-1}] \quad (9)$$

$$v_{2_{skut}} = 0,0118 \cdot \frac{4}{\pi \cdot 0,05^2} \cdot \frac{0,1}{0,7} = 0,86 m \cdot s^{-1}$$

Teoretická rychlost vysouvání pístnice je tedy $0,86 m \cdot s^{-1}$. Nedosáhnou tedy hodnoty rychlosti, ze které jsem vycházel, ale dosáhnou hodnoty rychlosti vysouvání pístnice, která je vyšší než minimální požadovaná. Zvýšit propustnost by se dalo zvolením prvků s větší světlostí. Jelikož splňuji podmínku rychlosti vysouvání pístnice, není nutné volit větší prvky. Lze předpokládat, že skutečná rychlost vysouvání pístnice pneumomotoru 25 bude vyšší než teoretická, kterou jsem vypočetl z propustnosti. Jelikož pneumomotor je dimenzován až na

sílu 1000 N a zatížení pro moji aplikaci je minimální, je pravděpodobné, že vzduch bude v pneumomotoru expandovat a dosažená rychlost vysouvání pístnice bude vyšší.

5.3 Volba zbylých prvků pneumatického obvodu

Prvky ovlivňující propustnost obvodu pro zvýšenou rychlost vysouvání pístnice druhého pneumomotoru jsem navolil v předchozí kapitole. Zde se budu věnovat volbě zbylých prvků pneumatického obvodu. Veškeré prvky pneumatického obvodu jsou zvoleny z katalogu společnosti Festo. Kusovník prvků pneumatického obvodu je součástí příloh, jedná se o přílohu L a zároveň jsou prvky i s orientačními cenami uvedeny v tabulce 2.

Pro ucelení práce jsem se rozhodl uvést zde ceny komponent pneumatického obvodu. Ceny jsem dohledal na webových stránkách společnosti MOS Technik. Samozřejmě se nejedná o celkovou cenu zařízení, do té by bylo nutno započítat náklady na materiál, mzdové náklady na konstruktéra, režijní náklady zhotovitele, náklady na logistiku a další náklady. Jelikož ale na konci práce budu navrhovat alternativní elektro – pneumatické řízení, tak jsem se rozhodl uvést alespoň náklady na prvky pneumatického obvodu, aby bylo možno porovnat cenový rozdíl mezi elektro - pneumatickým řízením a čistě pneumatickým řízením. Ceny prvků jsou uvedeny v tabulce níže [16].

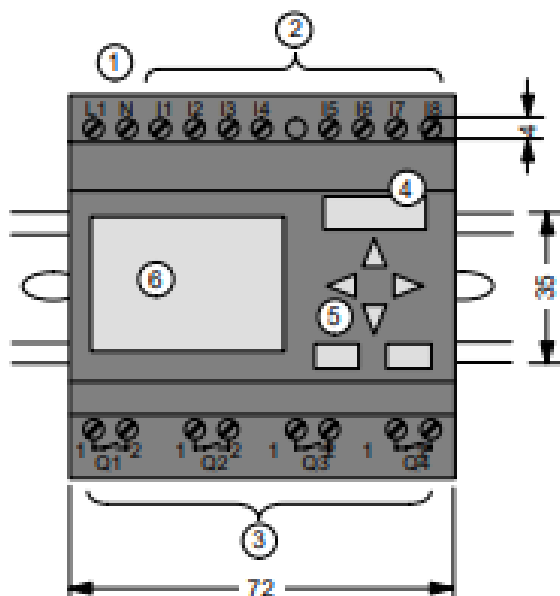
Tabulka 2 - Cenová kalkulace prvků pneumatického obvodu [16]

číslo	komponenta	označení	cena [EUR]	počet [ks]
1	spínací ventil	MS6-EM1-1/4-S	59,75	1
2	jednotka pro úpravu vzduchu	MS6-LFR-1/4-D6-CRM-AS	73,35	1
3	3/2 přepínač	VHEF-EST-B32-G18	59,96	1
4	kladka	R/O-3-PK-3	31,03	1
5-8	přibližovací čidlo	SMPO-8E	52,25	4
9-10	logický prvek AND	ZK-PK3	30,06	2
11	5/2 ventil	VUWS-L20-B52-G18	45,52	1
12	redukční ventil	LR-QS-6	50,45	1
13-14	jednosměrný škrťací ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	13,54	2
15	kompaktní válec	ADN-20-40-A-P-A	45,59	1
16-17	časové relé	VZ-3-PK-3	204,67	2
18	5/2 ventil	VUWS-L20-B52-G18	45,52	1
19-20	5/2 ventil	VUWS-L25-B52-G14	50,57	2
21	jednosměrný ventil	H-QS-10	56,32	1
22	rychlodvůtravací ventil	SEU-1/4	47,91	1
23	jednosměrný škrťací ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	13,54	1
24	jednosměrný škrťací ventil	GRLZ-1/8-QS-6-D	13,79	1
25	dvoojčinný pneumomotor	DSBC-50-450-PPVA-25L	168,31	1
26	čítač	PZA-A-B	218,09	1
27	šroubení	QS-G1/4-10	3	6
28	spojovací modul	MMS6-AG	32,74	1
29	šroubení - X	QSX-10	8,44	1
30	šroubení	QSM-M5-4	2,13	17
31	šroubení - T	QST-6	4,02	2
32	tlumič hluku	UC-M5	5,17	4
33	redukce	QS-10H-6	4,41	2
34	šroubení - T	QST-6-4	3,81	4
35	redukce	QS-6-4	2,97	2
36	šroubení	QS-G1/8-4	1,8	4
37	tlumič hluku	UC-1/8	5,25	4
38	tlumič hluku	U-PK-3	3,15	3
39	šroubení	QS-G1/8-6	2	8
40	šroubení	QSM-L-M5-6	3,08	2
41	záslepka	QSMC-3H	0,81	2
42	záslepka	QSC-4H	1,04	2
43	šroubení	QS-G1/4-6	2,15	3
44	tlumič hluku	UC-1/4	6,48	3
45	záslepka	QSC-10H	1,43	2
46	šroubení	QSL-G1/4-10	4,66	1
47	šroubení - X	QSMX-4	6,39	2
48	šroubení - T	QSM-T-4	3,7	3
49	šroubení - T	QST-10-6	6,44	1
50	hadice Ø10 mm	PUN-10X1,5-BL	2,38	1
51	hadice Ø6 mm	PUN-6X1-BL	1,09	1
52	hadice Ø4 mm	PUN-4X0,75-BL	0,74	1

Celková cena pneumatických prvků činí 2021 EUR. Což při aktuálním kurzu (1 EUR = 27,09 Kč) odpovídá necelým 55 000 Kč.

6 Alternativní elektro-pneumatická varianta

Jako v každém jiném technickém oboru došlo i ve strojírenství k obrovskému technologickému pokroku. Dnes je v praxi běžné kombinovat výhody pneumatického řízení s elektronickým. Vznikají tak nové možnosti řízení. Pro jednoduché aplikace je zpravidla dostačující řízení pneumatické, nicméně pro složitější aplikace je čistě pneumatické řízení již nedostačující a využívá se řízení elektronické nebo elektro-pneumatické. Elektronické řízení se skládá z akčních členů (např. pneumomotor), vhodně zvolených senzorů, komunikačního rozhraní (tzv. interface), sběrnice dat a řídicího systému. Mozkem celého řízení je programovatelný automat. Já volím programovatelný automat SIEMENS LOGO!. Řízení akčních členů se provádí pomocí programů, které se dají tvořit v softwaru LOGO!Soft Comfort, nebo se programy dají tvořit přímo v programovatelném automatu LOGO!. Aby bylo možno program tvořit přímo v automatu, je nutné, aby byl automat vybaven displayem. Automat obsahuje vstupy, které jsou označeny jako I a výstupy, které jsou označeny jako Q . Řídicí signál vstupů a výstupů je 24 V. V případě nedostatečného množství vstupů nebo výstupů se dá základní modul LOGO! rozšířit o přídatné moduly. Přídatné moduly nemusí mít využity všechny vstupy a výstupy. Automat přidá všem vstupům a výstupům stavy „0“ a „1“, stav „0“ znamená, že vstup/výstup je neaktivní a není tedy přivedeno specifické napětí. Pokud je specifické napětí na vstup/výstup přivedeno, automat vstupu/výstupu přiřadí hodnotu „1“ a vstup/výstup je aktivní. Na obrázku 33 je znázorněno schéma programovatelného automatu LOGO! se základními rozměry. Číslo 1 označuje zdroj napájení, číslo 2 označuje vstupy, číslo 3 výstupy [5] [18].



Obrázek 33 - Schéma programovatelného automatu SIEMENS LOGO! [18]

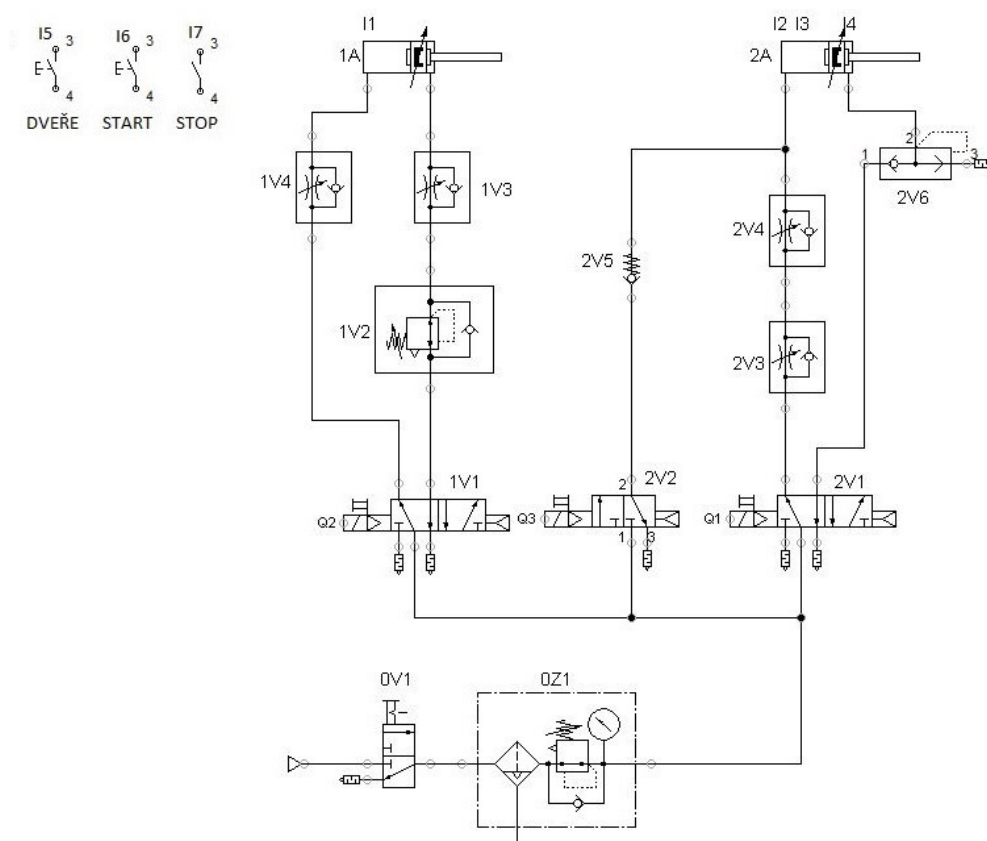
6.1 Počet vstupů a výstupů

Veškeré snímače polohy pístnic, tlačítka, spínače řadím mezi vstupy. V mém případě jde tedy o 4 snímače polohy pístnic (I1,I2, I3, I4), spínač detekující zavřené dveře automobilu (I5) a dvě tlačítka, start a stop (I6 ,I7). Celkový počet vstupů, který potřebuji je tedy 7. Základní modul LOGO! obsahuje 8 vstupů, není tedy potřeba přidávat žádný rozšiřující modul [19].

Mezi výstupy řadíme všechny ovládané prvky. V mém případě se jedná o 3 rozváděče, které jsou ovládány elektromagnety. Každý rozváděč je přestavován pomocí jednoho elektromagnetu, návrat do základní polohy je zajištěn pomocí pneumatické pružiny. Potřebuji tedy 3 výstupy (Q1, Q2, Q3). Základní modul LOGO! obsahuje 4 výstupy a je tedy dostačující [19].

6.2 Schéma elektro – pneumatického obvodu

Součástí elektro – pneumatického obvodu je stejně jako v čistě pneumatickém obvodu jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu a spínací ventil. Stejná je i část obvodu za ventily ovládající vysouvání pístnic pneumomotorů. Zůstávají tedy škrtkové ventily, redukční ventil a rychloodvzdušňovací ventil. Úplně jiná je ale řídicí větev obvodu. Snímače a tlačítka musí mít elektrický výstup, nikoli pneumatický. Dále nejsou potřeba časová relé, čítač počtu cyklů a logické ventily. Funkci těchto prvků zastupuje PLC, respektive program řídicí strojní zařízení. Výsledné schéma elektro – pneumatického obvodu lze vidět na obrázku 34.



Obrázek 34 - Schéma elektro - pneumatického řízení

6.3 Volba prvků elektro – pneumatického schématu

Jak jsem již zmínil v předchozí části této práce, jako programovatelný automat volím automat LOGO! společnosti SIEMENS. Zbylé prvky volím z katalogu Festo. Prvky, které obsahují oba typy řízení, volím stejné. Prvky, které se liší, volím opět od společnosti Festo. Senzory I1, I2, I3 a I4 volím z řady SMEO – 8E s napájecím signálem $10 - 30\text{ V}$. Snímače fungují na stejném principu jako snímače SMPO – 8E, tedy reagují na magnet v pístnici pneumomotoru. Ventily 1V1 a 2V1 volím z řady VUVS, konkrétně jde o typ VUVS-LK20-M52-AD-G18-1C1-S. Ventil 2V2 volím ze stejné řady, jedná se o typ VUVS-LK25-M32C-AD-G14-1B2-S.

Pro porovnání zde uvedu cenu prvků elektropneumatického obvodu. Cenu opět uvedu formou tabulky. Uvedu zde pouze cenu komponent, hadice, šroubení a ostatní prvky zde znovu uvádět nebudu.

Tabulka 3 - Cenová kalkulace prvků elektro - pneumatického obvodu [12]

číslo	komponenta	označení	cena [EUR]	počet [ks]
0V1	spínací ventil	MS6-EM1-1/4-S	59,75	1
0Z1	jednotka pro úpravu vzduchu	MS6-LFR-1/4-D6-CRM-AS	73,35	1
1V1, 2V1	5/2 ventil	VUVS-LK20-M52-AD-G18-1C1-S	51,7	2
2V2	3/2 ventil	VUVS-LK25-M32C-AD-G14-1B2-S	51,13	1
1V2	redukční ventil	LR-QS-6	50,45	1
1V3, 1V4	jednosměrný škrtkový ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	13,54	2
1A	kompaktní válec	ADN-20-40-A-P-A	45,59	1
2A	dvoojčinný pneumomotor	DSBC-50-450-PPVA-25L	168,31	1
2V3	jednosměrný škrtkový ventil	GRLZ-1/8-QS-6-D	13,79	1
2V4	jednosměrný škrtkový ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	13,54	1
2V5	jednosměrný ventil	H-QS-10	56,32	1
2V6	rychlodvětrávací ventil	SEU-1/4	47,91	1
I1, I2, I3, I4	snímač polohy pístnice	SMEO - 8E	36,8	4
	PLC LOGO!	6ED1052-1CC08-0BA0	114	1
	Logo!Soft Comfort	6ED1058-0BA08-0YA1	50	1

Celková suma těchto komponent tedy činí zhruba 850 EUR , což odpovídá asi $23\,000\text{ Kč}$. Z této kalkulace vyplývá, že pořizovací náklady obvodu budou mnohem nižší než u čistě pneumatického obvodu. Nicméně je třeba si uvědomit, že zde nejsou uvedeny ceny za šroubení, hadice, kabely atd. Dále je třeba, při použití elektro – pneumatické varianty, mít připravené komunikační rozhraní a k tomu vyškoleného programátora, dalším nákladem navíc by byla studie analýzy rizik a celkově by byly nároky na bezpečnost vyšší, takže celkové náklady na elektro – pneumatické řízení budou zřejmě vyšší než náklady na čistě pneumatické řízení [12].

Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem zařízení na testování zámků a závěsů dveří automobilu. Jako zkušební automobil jsem zvolil Škodu Karoq. V první části práce se zabývám rešerší nejčastějších typů závěsů dveří osobních automobilů. Dále se věnuji parametrům životnostní zkoušky a návrhům různých způsobů, jak by se zařízení dalo řešit. V poslední části rešerše je popsán zámek a závěsy dveří automobilu Škoda Karoq.

Další část práce je zaměřena na konstrukci zařízení. Navrhl jsem tři způsoby odjišťování a tahání za kliku, z nichž jsem zvolil nejvhodnější. Zvolil jsem možnost, kdy pneumomotor tahá za kliku přímo, bez další transformace pohybu. Dle mého názoru je tento způsob konstrukčně jednodušší. Součástí návrhu konstrukce zařízení je volba obou pneumomotorů. Pro tahání za kliku jsem zvolil dvojčinný kompaktní pneumomotor řady ADN, pro otevírání a zavírání dveří jsem zvolil přímočarý pneumomotor řady DSBC. V další části jsem navrhl externí rám na pneumomotor, který otevírá a zavírá dveře. Veškeré vyráběné komponenty konstrukce jsou vypáleny z plechů z nerezové oceli a menšími úpravami by se zařízení dalo přizpůsobit na jiné typy automobilů.

Následně jsem se věnoval tvorbě pneumatického obvodu. Pro snadnější orientaci v následnosti pohybů pístnic obou pneumomotorů jsem vytvořil krokový diagram pneumomotorů. Vytvořil jsem dvě schémata pneumatického obvodu. Vzhledem ke skutečnosti, že zařízení bude pracovat ve zkušebně, nikoli v běžném provozu, jsou nároky na bezpečnost nižší. Proto jsem zvolil jednoduché pneumatické schéma, bez bezpečnostních prvků. V případě, kdyby zařízení pracovalo v běžném provozu, byly by nároky na bezpečnost mnohem vyšší. Jednalo by se o oplocení zařízení, světelné závory, vybavit zařízení e – stop tlačítkem a jiné. Součástí této části práce byl výpočet propustnosti obvodu, kde jsem vycházel z podmínky minimální rychlosti vysouvání pístnice pneumomotoru 25. Dále jsou zde navoleny prvky a uvedena cena prvků pneumatického obvodu.

V poslední části práce se zabývám návrhem alternativní elektro – pneumatické varianty. Navrhl jsem elektro – pneumatický obvod a navolil prvky tohoto obvodu. Také jsem zde uvedl cenu těchto prvků. Prvky elektro – pneumatické varianty jsou sice levnější, ale celková cena elektro – pneumatického řízení by se zvýšila na faktorech, které nemám v práci zahrnuty. Jako vhodnější varianta tohoto zařízení se tedy jeví zařízení, které je řízeno čistě pneumaticky. K provozování zařízení postačí přívod stlačeného vzduchu a není tedy nutné, aby zařízení bylo napojeno na zdroj elektrické energie. Další výhodou jsou snížené nároky na bezpečnost, v případě, kdyby bylo zařízení řízeno elektro – pneumaticky, muselo by splňovat normy a směrnice týkající se provozování elektrického zařízení. V případě poruchy některého z prvků postačí, v případě pneumatického řízení, výměna patřičného prvku proškolenou osobou, nebo zhotovitelem zařízení. Z těchto důvodů bylo zvoleno pneumatické řízení zařízení.

Seznam použité literatury

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. SMS Training – Stlačený vzduch a jeho využití. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 2019, 4.vydání. 373 s.
- [2] BEATER, P. Pneumatic drivers: systém design, modelling and control. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0
- [3] KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanizmy. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996. ISBN 80-707-8306-0.
- [4] MURRENHOF, H., REINERTZ, O. Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0

Internetové zdroje

- [5] CAMOZZI COMPETENCE CENTRE. Pneumatic Automation From Basic Practical Techniques., Brescia: Camozzi Automation S.p.A., 2019, 215 p. Dostupné z: https://camozzi.com/sites/default/files/dl_files/MN/-Tec%20Did_ENG_2019_LowRes.pdf
- [1] Thinkcar.blogspot.com: skoda rapid [online]. 2012 [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <http://thinkcar.blogspot.com/2012/09/skoda-rapid-2013.html>
- [2] Caricos.com: cars [online]. 2016 [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: https://www.caricos.com/cars/v/vw/2016_volkswagen_sharan/images/9.html
- [3] Auto.cz [online]. 2017 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/galerie/technika/54006/originalni-otevirani-dveri-u-aut-soupacky-racci-kridla-nuzky?foto=11>
- [4] Auto.cz [online]. 2017 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/originalni-otevirani-dveri-u-aut-soupacky-racci-kridla-nuzky-102175>
- [5] Schunk: uchopovací systémy [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/emh/
- [6] Smc.eu: produkty a podpora [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/mhm-magneticka-uchopna-hlavice~164391~cfg?partNumber=MHM-16D>
- [7] Festo.com: produkty [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_ADN_AEN
- [8] Festo.com: produkty [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/npc/npc-datasheet-ui/datasheet.do?product=DSBC-50-450-PPVA-25L>
- [10] Festo.com: produkty [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_MS6_EM

- [11] Festo.com: cat [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_de/PDF/DE/PPL_DE.PDF
- [12] Mostechnik.fittingline.com: katalog [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://mostechnik.fittingline.com/katalog/cs/festo-pneumaticka-soustava/%7BD8D623A8-6981-472F-A8D1-6297BD348ED2%7D>
- [17] Festo.com: produkty [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DSBC_CZ.PDF
- [18] Siemens.com: industry [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82564/v1/Logo_e.pdf
- [19] Siemens.com: assets [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fa879df3-ee58-4b8a-ae2f-7567d15f95f1/Cenik-20191.pdf?fbclid=IwAR05qCkAlbWm9t7vAUMQNc-psb28uadiz_LGoEhjZkJaKUrSnNKePQ5H1xQ

Seznam příloh

Příloha A – výkres podstavy

Příloha B – výkres žebra

Příloha C – výkres čtvercového profilu

Příloha D – výkres konzole 1

Příloha E – výkres konzole 2

Příloha F – výkres svařence extérního rámu

Příloha G – výkres sestavy pneumomotoru 25

Příloha H – výkres držáku lanka 1

Příloha CH – výkres držáku pneumomotoru 15

Příloha I – výkres držáku lanka 2

Příloha J – výkres sestavy pneumomotoru 15

Příloha K – schéma pneumatického obvodu

Příloha L – kusovník pneumatických prvků

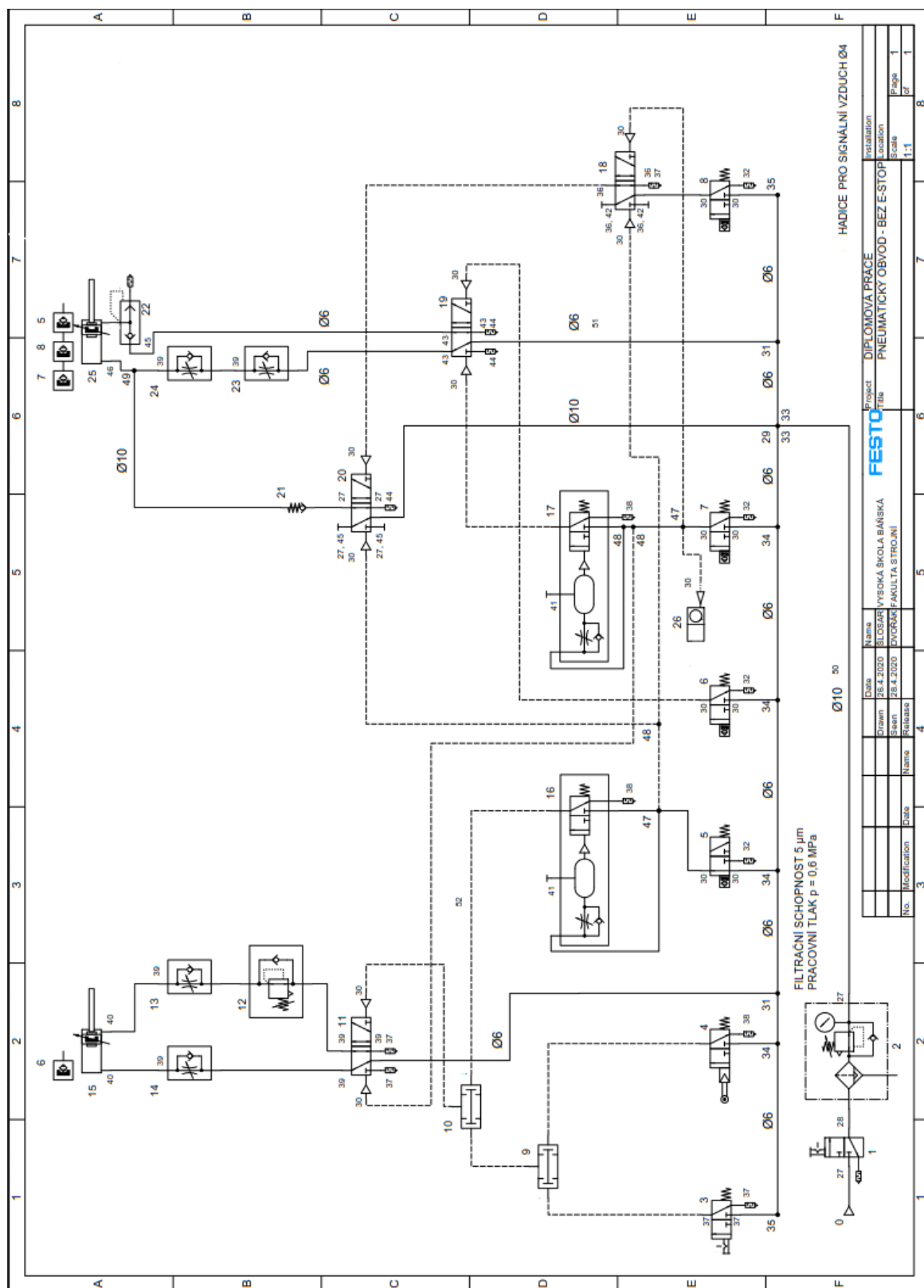
Příloha M – schéma pneumatického obvodu s e – stop tlačítkem

Přílohy K, L, M jsou zařazeny za textovou část diplomové práce a spolu s dalšími přílohami jsou také v přiloženém souboru Slosar_Ondrej_prilohy.zip

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. a konzultantovi diplomové práce Ing. Jaroslavovi Medunovi za odborné rady a vstřícný přístup.

Příloha K – schéma pneumatického obvodu



Příloha L – kusovník prvků pneumatického obvodu

	1	2	3	4
	číslo	komponenta	označení	počet [ks]
A	1	spínací ventil	MS6-EM1-1/4-S	1
	2	jednotka pro úpravu vzduchu	MS6-LFR-1/4-D6-CRM-AS	1
	3	3/2 přepínač	VHEF-EST-B32-G18	1
	4	kladka	R/O-3-PK-3	1
	5	přiblížovací čidlo	SMPO-8E	1
	6	přiblížovací čidlo	SMPO-8E	1
	7	přiblížovací čidlo	SMPO-8E	1
	8	přiblížovací čidlo	SMPO-8E	1
B	9	logický prvek AND	ZK-PK3	1
	10	logický prvek AND	ZK-PK3	1
	11	5/2 ventil	VUWS-L20-B52-G18	1
	12	redukční ventil	LR-QS-6	1
	13	jednosměrný škrtkový ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	1
	14	jednosměrný škrtkový ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	1
	15	kompaktní válec	ADN-20-40-A-P-A	1
	16	časové relé	VZ-3-PK-3	1
C	17	časové relé	VZ-3-PK-3	1
	18	5/2 ventil	VUWS-L20-B52-G18	1
	19	5/2 ventil	VUWS-L25-B52-G14	1
	20	5/2 ventil	VUWS-L25-B52-G14	1
	21	jednosměrný ventil	H-QS-10	1
	22	rychlodvětrávací ventil	SEU-1/4	1
	23	jednosměrný škrtkový ventil	GRLA-1/8-QS-6-D	1
	24	jednosměrný škrtkový ventil	GRLZ-1/8-QS-6-D	1
D	25	dvoojčinný pneumomotor	DSBC-50-450-PPVA-25L	1
	26	čítač	PZA-A-B	1
	27	šroubení	QS-G1/4-10	6
	28	spojovací modul	MMS6-AG	1
	29	šroubení - X	QXS-10	1
	30	šroubení	QSM-M5-4	17
	31	šroubení - T	QST-6	2
	32	tlumič hluku	UC-M5	4
E	33	redukce	QS-10H-6	2
	34	šroubení -T	QST-6-4	4
	35	redukce	QS-6-4	2
	36	šroubení	QS-G1/8-4	4
	37	tlumič hluku	UC-1/8	4
	38	tlumič hluku	U-PK-3	3
	39	šroubení	QS-G1/8-6	8
	40	šroubení	QSM-M5-6	2
F	41	záslepka	QSMC-3H	2
	42	záslepka	QSC-4H	2
	43	šroubení	QS-G1/4-6	3
	44	tlumič hluku	UC-1/4	3
	45	záslepka	QSC-10H	2
	46	šroubení	QSL-G1/4-10	1
	47	šroubení - X	QSMX-4	2
	48	šroubení - T	QSMT-4	3
F	49	šroubení - T	QST-10-6	1
	50	hadice Ø10 mm	PUN-10X1,5-BL	1
	51	hadice Ø6 mm	PUN-6X1-BL	1
	52	hadice Ø4 mm	PUN-4X0,75-BL	1
		Project	Title	
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	PNEUMATICKÝ OBVOD - KUSOVNÍK	
		Drawn	Date	Name
		28.4.2020	SLOŠAR	VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ
		Seen	Date	Name
		28.4.2020	DVOŘÁK	FAKULTA STROJNÍ
No.	Modification	Date	Name	Release
1				
2				
3				
4				
		Installation	Location	
		1:1	Page 1 of 1	

Příloha M – schéma pneumatického obvodu s e-stop tlačítkem

